

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

港湾空港技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH
INSTITUTE

Vol.56 No.4 March 2018

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN

NATIONAL INSTITUTE OF MARITIME,
PORT AND AVIATION TECHNOLOGY

港湾空港技術研究所報告 (REPORT OF PARI)

第 56 卷 第 4 号 (Vol. 56, No. 4) , 2018 年3月 (March 2018)

目 次 (CONTENTS)

1. 世界の自動化コンテナターミナルの動向分析	高橋浩二 3
(Trend Analysis of Automated Container Terminals in the World)	Koji TAKAHASHI

世界の自動化コンテナターミナルの動向分析

高橋 浩二*

要 旨

自動化コンテナターミナルは、1993年に世界初のターミナルがロッテルダム港 Delta Terminal にオープン以来、生産性・労働安全性の向上や労働環境改善の長所が受け入れられ、2010年以降の世界的な普及期を経て、現在は世界の約 50 のターミナルオペレータに採用されている。この間に、自動荷役技術は、IT 技術の進化とあわせ、デファクトスタンダード化やデファクトステップ化が進んだ結果、①新規にコンテナターミナルへ自動荷役を導入しやすい状況、②自動化コンテナターミナル間相互の生産性競争を激しくさせ、自動荷役技術の導入による生産性の競争のみならず、さらなる生産性の向上のための戦略を採用せざるを得ない状況、③自動荷役技術のハード・ソフトのノウハウと実績を欧米のグローバル企業数社による寡占化の状況、を作り出す結果となった。2017年になると中国企業が国産技術により自動化コンテナターミナルを供用させ、グローバル企業の仲間入りを果たした。後発企業である中国企業がグローバル企業の仲間入りを果たすことができた背景には、中国企業の後盾となるローンチカスタマーの存在がある。

このように海外で大きな動きが起こっている一方で、わが国国内では自動荷役に関する既存の情報や文献は少なく、荷役設備の技術内容を詳述するものに限られているのが現状である。わが国のコンテナターミナルに自動荷役を導入する場合の基礎情報として、世界の自動化コンテナターミナルの動向分析を提供することは有意義なことである。

このため、筆者は、世界の自動化コンテナターミナルの現地調査や企業訪問、国際会議への参加等により、自動化コンテナターミナルをめぐる長短、導入に至った背景、技術のデファクト化、企業動向等の分析を行い、本報告において、動向分析の結果を提供するとともに、わが国に自動荷役を導入する場合に必要な視点を提示した。

キーワード：自動化コンテナターミナル、荷役、動向分析、サプライヤー、寡占、デファクトスタンダード、デファクトステップ、生産性競争、ローンチカスタマー、港湾労働者、スキルアップ

* 元特別研究主幹（現 株式会社日本港湾コンサルタント）
〒104-0033 東京都品川区西五反田8-3-6 TK五反田ビル
電話：03-5434-5671 Fax：03-5434-5393 E-mail：koji_takahashi@jportc.co.jp

Trend Analysis of Automated Container Terminals in the World

Koji TAKAHASHI*

Synopsis

This report introduces the trend analysis of automated container terminals in the world and proposes some general considerations to decision making for planning; building or operating automated container terminals in Japan vis-à-vis types of automated facilities. This report further advances current knowledge on automated container terminals in the world by introducing market trends of automation technologies, strategies of corporations and social background that have influences on gaining in popularity to the world market. The advantages, challenges and solutions regarding automated terminals in this report will contribute the implementation of automation technologies currently available on the market to the needs of the national/local government and the terminal operators in Japan.

The trend analysis is based on the research data which is collected by the author from relevant international sources like taking interviews with the Industry Stalwarts, Terminal Operators, Port Authorities, etc.

Key Words: Port, Automated container terminal, Cargo-Handling, Trend analysis, Supplier, Oligopoly, De facto standard, De facto step, Launch customer, Labor, Skill up

* Former Senior Director for Research (Japan Port Consultants, Ltd.)
8-3-6 Nishi-Gotanda, Shinagawa, Tokyo 141-0031
Phone: +81-3-5434-5671 Fax: +81-3-5434-5393 E-mail: koji_takahashi@jportc.co.jp

目 次

要 旨	3
1. はじめに	7
2. 自動化コンテナターミナルの定義	8
3. 世界の自動化コンテナターミナルの現況	9
3.1 約50港まで普及	9
3.2 自動荷役の長所, 短所	18
3.3 自動化コンテナターミナルの普及の要因	18
3.4 自動化コンテナターミナルの取扱能力と生産性	21
3.5 自動化技術のデファクトスタンダード化	26
3.6 今後, 世界で約100港まで普及するポテンシャル	33
3.7 導入のためのデファクトステップ	35
4. 投資環境の変化	38
4.1 ターミナル間の生産性競争へ突入	38
4.2 船社にターミナルコストの負担増	39
4.3 海運アライアンスの再編	39
4.4 自然環境保全	39
4.5 中国企業の参入	40
4.6 二極分化.....	46
4.7 港湾労働者のスキルアップ (VR, ゲームフィクション)	47
5. 最先端技術の保有企業による寡占	48
5.1 欧米2大企業グループに肩を並べたZPMC	48
5.2 自動荷役技術とサプライヤーの寡占	49
5.3 自動化コンテナターミナル市場へ民間企業が参入するための経営環境	52
6. 動向分析の結果の総括とわが国に自動化コンテナターミナルを導入するうえで必要となる視点	53
6.1 海外の自動化コンテナターミナルの動向分析の結果の総括	54
6.2 わが国に自動化コンテナターミナルを導入するうえで必要となる視点	54
謝辞	56
参考文献	56
参考1 自動荷役設備の特性	58
参考2 調査方法, 調査項目, 訪問日, 国際会議参加者リスト	60

1. はじめに

世界にはコンテナターミナルの要件を備えている港湾が400港以上ある。1993年に世界初の自動化コンテナターミナルが遠隔操作を取り入れてオープンして以来、現在までに自動荷役設備（遠隔操作および完全自動を含む）を稼働させた港湾は約50港ある。これらの自動化コンテナターミナルの技術内容や経済社会的背景を分析すると、下記の特徴がある。

第一に、急速に普及している点である。2013年から2017年までの5年間で、毎年平均5港以上がオープンし、さらに今後数年以内に、建設中の数港が稼働する予定である。ゆくゆくは100港程度まで普及すると予想される。このように、自動荷役設備が急速に普及している背景には、利益率・労働環境の改善、20,000TEU超の大型コンテナ船の48時間荷役の実現、自然環境保全などの経済社会的要素に加え、早期の段階において整備された、自動荷役に関連する安全基準などの基準類の存在が寄与していることがある。

第二に、自動化コンテナターミナルに採用されている技術内容が年代とともに高度化・成熟化し、信頼性が高くなっていること、さらに、技術の確立とともに、自動荷役の導入ステップも明確になってきている点である。自動荷役設備は、荷役設備の組み合わせにより6種類のパターンに分類できるが、初期のころから普及期に移行すると、立地条件、ターミナルオペレータの要望を反映し、数種類のパターンに収束しつつある。

第三に、コンテナターミナル単体の生産性向上による比較優位の段階を経て、自動化コンテナターミナル間の比較優位性の競争の段階に突入している点である。初期の段階では自動荷役を導入したコンテナターミナルが先行利得を得て比較優位に立ったが、自動荷役設備が普及した現段階では、先行利得期の優位性が薄れ、新たな技術の導入や経営手法の見直し、港湾労働者個人が持つ技術力の育成訓練などにより、生産性を向上せざるを得ない状況に立たされている。また、自動化技術の欧米企業2強に対し、世界最先端の技術を保有する中国企業の参入が自動化コンテナターミナル間の生産性競争に拍車をかけている。

第四に、自動荷役設備のハードウェア・ソフトウェアを開発・製造する企業（サプライヤー）の寡占が進んでいる点である。特に、自動化コンテナターミナルを総合的に計画・設計・製造できる企業は世界で3強に集約されつつある。このような寡占化の背景には、ターミナルオペレータにとっては、自動荷役設備の導入の初期投資額

が大きいため、すでに実績のある企業および設備を選択する意向が強いこと、また、設備を開発する企業にとっては、すでに自動荷役技術で先行する企業による技術のブラックボックス化や知的財産権化が進んでいるため、後発企業が自動荷役設備の開発に参入するには先行技術の利用や莫大な開発資金の負担が発生するなど、市場を見据えた経営判断が必要であることがある。このような状況下で、今後、後発企業が寡占市場へ新たに参入するためには、ローンチカスタマー（Launch Customer）となる強力なターミナルオペレータが必要である。

一方、わが国においてもコンテナターミナルの遠隔操作化・自動化に関心が高く、横浜港と神戸港において遠隔操作化・自動化の実証試験が行われている。わが国のコンテナターミナルに自動荷役を導入する場合、上記の特徴を前提とすれば、現在の港湾計画ばかりではなく港湾物流や港湾労働界への大きな影響が予想されるが、この点に関する情報や分析、研究が、わが国では極端に少なく、既存の情報や文献は、荷役設備の技術内容を詳述するものに限られているのが現状である。筆者は、実証試験の結果が得られるタイミングにあわせて、世界の自動化コンテナターミナルを、全体的に俯瞰して、技術内容、自動荷役の長短、導入に至った背景、市場動向等を分析し、かりにわが国に自動荷役を導入する場合に必要な視点を提示することは有意義であると考え。

しかしながら、研究に関しても、国内外の研究や文献は技術紹介に関する内容の成果はあるものの、動向分析を行った成果は少ない。このような状況の背景には、調査を実施し始めて分かったことであるが、自動化コンテナターミナルの動向は企業の経営戦略に結び付く内容であることから、公開されている情報が限られていることがある。このため、本報告の執筆のため、筆者が自ら足を運び、世界の自動化コンテナターミナルの現地調査、グローバル企業の訪問、国際会議での意見交換等を通じて、丹念に情報収集する方法により動向分析を行うこととした。

本報告は、筆者が、世界のほぼすべての自動化コンテナターミナルの現地調査、自動荷役設備の企業訪問、さらにはロンドンで開催された自動化コンテナターミナルの国際会議等を通じて、技術内容、自動荷役の長短、導入に至った背景、市場動向を分析し、取りまとめたものであり、最新情報に基づく、わが国初の動向分析となった。

本報告の一部は、高橋浩二（2016a～2016c, 2017a～2017e, 2018）に公表しているが、本報告の執筆にあたり、視点を体系化し、加筆した。

(本報告末に、自動荷役設備の特性および調査訪問の概要を掲載した。)

本報告を、第2章から第6章で構成した。

第2章で、自動化コンテナターミナルとは何か、基本構成と定義を示す。

第3章で、世界の自動化コンテナターミナルの現況を示す。自動化ターミナルとして稼働している約50港を分析し、自動化ターミナルが普及した要因、採算性、技術のデファクトスタンダード化(戦略的に多くのユーザーを他社に先んじて囲い込み、実質的に標準化すること)を指す。)の進行、将来的には100港程度まで普及するポテンシャルがあることを示す。最後に、自動化を導入するためのデファクトステップ(多くのユーザーが同じステップを踏むこと)を示す。

第4章で、自動化コンテナターミナルの投資環境が初期のころから現在に至る間に変化していることを示す。初期のころは、生産性の向上や労働環境の改善が目的であったが、今や自動化ターミナル間の生産性の競争に突入していることのみならず、船社のターミナルコストの負担増、海運アライアンスの再編、中国企業の参入により、投資先が既存ターミナルの改良と欧米以外の地域へ二極分化していることを示す。一方で、どの地域やどのターミナルにおいても、ターミナルオペレータが自動化を担う港湾労働者のスキルアップに力を入れている事実を紹介する。

第5章で、自動化の最先端技術を保有する企業の寡占化が進んでいることを示す。従来の欧米2強に加え、現在は中国企業が参入し、自動化の導入は3強によって進められている。かりに、わが国が自動化コンテナターミナルを整備する場合は、海外企業と連携してレイアウト、計画、設計、整備、メンテナンスを行う必要が出てくる状況であること、日本企業で自動化コンテナターミナルを進めるためには、強力な後ろ盾となるローンチカスタマー(Launch Customer)が必要であることを示す。

第6章で、結論として、わが国のコンテナターミナルの荷役を自動化する場合の必要な視点を示す。

本報告がわが国のコンテナターミナルに自動荷役を導入する場合の参考になれば幸いである。

なお、本報告は、本文中で発言を引用した各氏を、筆者が訪問し、面会した時の肩書で記載している。

2. 自動化コンテナターミナルの定義

海外では「Automated Container Terminal」で統一して表

記されており、自動車の「Self-Driving(自動運転)」に使用される「Self」とは明確に区別されている。また、海外では、遠隔操作を「Remote」または「Semi-Automated」と、人の意思が直接伝わらない完全自動の場合を「Full-Automated」と表記されることもある。日本語では「自動化コンテナターミナル」や「自働化コンテナターミナル」などのいくつかの表記があるが、いずれも同じ意味で使用されている。本報告では、知的財産における表記が「自動」に統一されていることから、遠隔操作や完全自動も含め、「自動化コンテナターミナル」と表記を統一する。

世界の自動化コンテナターミナルを俯瞰していえることは、規格化された製品の組み合わせではなく、さまざまなレベルの自動化技術(Automation technology)がターミナルごとにカスタマイズされているため、各ターミナルは異なるレベルの自動化技術を持つことである。

既往の文献では、一ノ瀬(2010)は、2010年ころまでにオープンしたコンテナターミナルに関して、類型化を行い、「第1世代の自働化ターミナル」としてDeltaを、「第2世代の自働化ターミナル」としてCTAおよびEuromaxを、「第3世代の自働化ターミナル」としてCTBおよびAGWを代表事例として挙げており、ターミナルの生産性を比較し、CTAのバース生産性が最も高いと指摘している。Martín-Soberónら(2014)は、自動化コンテナターミナルがそれぞれに異なるレベルで自動化されており互いに異なる性質であることから、自動化のレベルに着目して、稼働効率、安全性、環境、利益に着目して、将来の方向を分析している。

一方、需要予測に関しては、Technavio(2017)は、2017年から2021年までの間に、自動化コンテナターミナルは25%の年平均成長率で成長すると予測している。そのほか、海外で、Sisson(2016)やBlaklock(2017)など、多くの自動化コンテナターミナルの記事が配信されている。

本報告は、自動荷役設備のスペックを対象とするのではなく、既存の自動化コンテナターミナルが自動化に至った背景や、自動荷役技術を担う企業動向、さらには、将来の自動化コンテナターミナルに欠かせない視点について取りまとめたものである。

したがって、本報告は、自動化コンテナターミナルを下記の4つのシステムに分割して分析している。筆者が約50の自動化コンテナターミナルの現地調査を行った結果、各コンテナターミナルは港湾の立地条件、経済社会的背景、物流形態、顧客の要請により、各々ともにレイアウトや自動化レベルが異なるものの、下記の項目の自動化レベルを評価する方法が理解しやすい。

- ①岸壁荷役システム (Waterside)
- ②岸壁とヤード間の水平輸送システム (Horizontal Transport)
- ③ヤードスタッキングシステム (Stacking Area/Block)
- ④外部トラックとのコンテナの受け渡しシステム (Landside)

したがって、本報告では、コンテナターミナルを、図-2.1のように、Waterside (海側), Stacking Area/Block (スタッキングエリア/ブロック), Landside (陸側) に分けて整理し、「自動荷役」を、「コンテナターミナルの①②③について荷役設備を『遠隔操作』または『自動』で稼働させている荷役方式」と定義する。

「在来荷役」は「有人の直接操作による荷役方式」と定義する。

3. 世界の自動化コンテナターミナルの現況

3.1 約 50 タイプまで普及

表-3.1 は、世界の自動化コンテナターミナルのタイプを一覧した表である。自動化コンテナターミナルはターミナルオペレータによって稼働されている事実から、こ

の表の整理にあたっては、自動化コンテナターミナルをターミナルオペレータごとに、①自動荷役設備の海側、②水平輸送手段、③スタッキングエリア/ブロック、④陸側の4つのエリアに関し、自動化レベルの観点で整理している。

表に示すように、コンテナターミナルのターミナルオペレータは、現在までに、50 超のタイプの自動化コンテナターミナルを稼働させ、さらに今後も増やす予定である。

ただし、表の見方にはいくつかの注意点がある。

表は自動化コンテナターミナルに自動荷役設備を導入した年を示しているため、同じ自動荷役設備の導入によってコンテナターミナルを拡張した場合は、単純な設備の増強であるため、掲載していない。たとえば、ECTは、1993年にDelta Terminalのオープン後、同じ自動荷役設備を導入して、1996年にDelta Dedicated East Terminal (DDE)、2000年にDelta Dedicated West Terminal (DDW)をオープンしているが、同じ自動荷役設備であるため最初に導入した1993年のみを掲載した。一方、ECTが2008年にオープンさせたEuromax Terminalは、1993年の自動荷役設備と異なるタイプであることから表に掲載している。

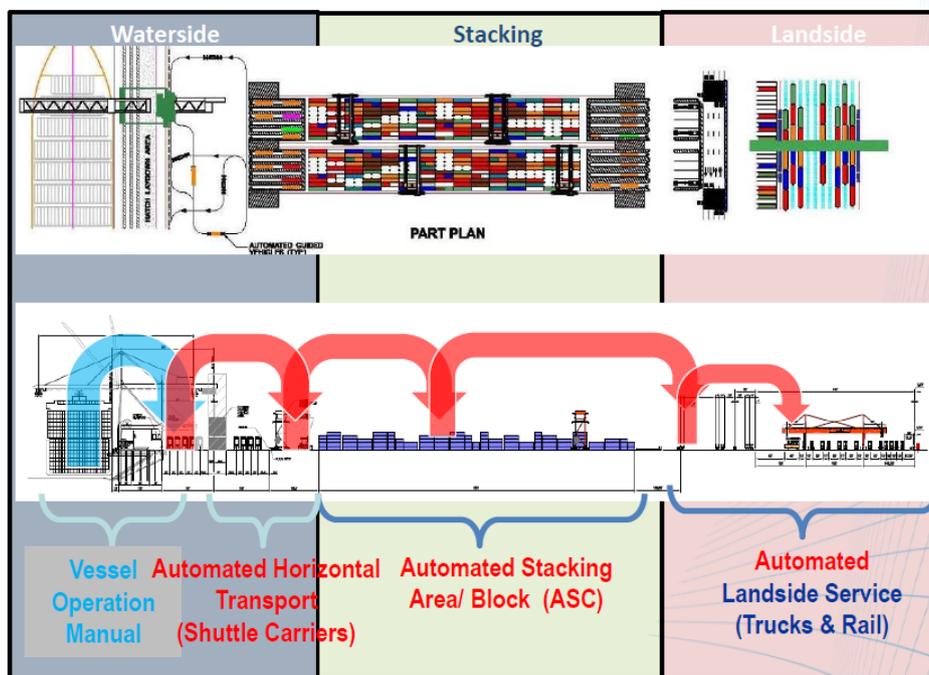


図-2.1 自動化コンテナターミナルの模式図 (出典：CH2M HILL)

表-3.1 世界の自動化コンテナターミナル一覧（出典：筆者の調査）

- (注1) 同システムによるターミナルの拡張は掲載していない。システムの大幅な変更を伴う拡張については掲載した。
(注2) 供用年は本格的に稼働を始めた時期とした。したがって、供用年は供用式典の開催年やターミナルオペレータの公表年と異なる場合がある。トライアルで導入したが本格的な導入を断念した場合は表に掲載していない。
(注3) 「Gottwald Port Technology」は「Terex Port Solutions」に吸収された。
(注4) L-AGVはLift-On Lift-Off AGVを、SCはShuttle CarrierおよびStraddle Carrierを指す。
(注5) AutoStradおよびAutoShuttleはKalmarの製品名で、Automated ShCの機能を持つ。
(注6) No.51 SingaporeのAGVはTuas Terminalの自動荷役導入試験のためPasir Panjang Terminalへ導入された。

No.	国/地域	港湾	ターミナル	ターミナルオペレータ	供用年	海側		スタッキングエリア/ブロック			陸側 コンテナ荷役
						岸壁荷役 (STS)	水平輸送	荷役機械の種類 製造メーカー		レイアウト Parallel Vertical Slanting	
1	Netherlands	Rotterdam	Delta	ECT	1993	Manual	AGV (Gottwald, VDL)	ASC	Kalmar	V	Remote
2	UK	London	Thamesport	HPH (1998)	1994	Manual	Chassis	ASC	NOELL	P	
3	Singapore	Singapore	PSA Pasir Panjang	PSA	2000	Manual	Chassis	OHBC	MES	P	Remote
4	Germany	Hamburg	CTA	HHLA	2002	Manual	AGV (Gottwald)	ASC	Künz	V	Remote
5	Australia	Brisbane	Patrick	Patrick	2005	Manual	AutoStrad		Kalmar	V	Remote
6	日本	名古屋	飛島南	TCB	2005	Manual	AGV (MHI, Toyota)	ARTG	MHI, Toyota	P	Remote
7	日本	東京	大井	Wan Hai	2006	Manual	Chassis	ASC			
8	韓国	釜山新港	PNC	DPW	2007	Manual	Chassis	ASC	Doosan	P	Remote
9	Belgium	Antwerp	AGW	DPW	2007	Manual	Manual ShC	ASC	Gottwald	V	Automated
10	台湾	高雄	Evergreen	EMC	2007	Manual	Chassis	ASC		V, P	
11	U.S.A.	Virginia	Portsmouth	APMT (VIG)	2007	Manual	Manual ShC	ASC	Konecranes	V	Remote
12	Netherlands	Rotterdam	Euromax	ECT	2008	Manual	AGV (VDL)	ASC	ZPMC	V	Remote
13	韓国	釜山新港	HJNC	Hanjin	2009	Manual	Chassis	ASC	ZPMC	P	Remote
14	台湾	台北	台北新	TPCT	2009	Manual	Chassis	ASC	ZPMC	P	Remote
15	Germany	Hamburg	CTB	HHLA	2010	Manual	Manual ShC	ASC	Kalmar	V	Automated
16	韓国	釜山新港	Hyundai	HMM	2010	Manual	Chassis	ASC	ZPMC	P	Remote
17	Spain	Algeciras	TTI	Hanjin	2010	Manual	Manual ShC	ASC	ZPMC	V	
18	台湾	高雄	KMCT	KMCT	2011	Manual	Chassis	ASC	ZPMC	P	Remote
19	Greece	Piraeus	Pier II	PCT	2012	Manual	Chassis	ASC	ZPMC	P	Remote
20	韓国	釜山新港	BNCT	BNCT (Macquarie)	2012	Manual	Manual ShC	ASC	ZPMC	V	Remote
21	UAE	Abu Dhabi (Khalifa)	KPCT	ADT	2012	Manual	Manual ShC	ASC	Konecranes	V	Remote
22	香港	香港	CT6	HPH	2012	Manual	Chassis	ASC			
23	Australia	Brisbane	BCT	HPH	2013	Manual	Automated ShC (Kalmar)	ASC	Kalmar	V	Remote
24	Spain	Barcelona	BEST	HPH	2013	Manual	Manual ShC	ASC	Konecranes	V	Remote
25	UK	London	London Gateway	DPW	2013	Manual	Manual ShC	ASC	Kalmar	V	
26	U.S.A.	NY/NJ	Global	GCT	2014	Manual	Manual ShC	ASC	Konecranes	S	Remote
27	Australia	Sidney	SICTL	HPH	2014	Manual	Manual ShC	ASC	Konecranes	V	
28	Australia	Sidney	SICTL	Patrick	2014	Manual	AutoStrad		Kalmar	V	
29	Australia	Brisbane	DPW	DPW	2014	Manual	Manual ShC	ASC	Kalmar	V	
30	中国	廈門	XYCT	COSCO	2014	Manual	AGV(ZPMC)	ASC	ZPMC	P	
31	Indonesia	Tanjung Perak (Surabaya)	Teluk Lamong	Pelindo III	2014	Manual	Automated TT (VDL)	ASC	Konecranes	V	Remote
32	U.S.A.	Los Angeles	MOL	TraPac	2014	Manual	Automated Straddle (Kalmar)	ASC	Kalmar	P	Remote
33	Panama	Colón	Manzanillo	MIT	2015	Manual	Chassis	ASC	ZPMC	P	Remote
34	Singapore	Singapore	PSA Pasir Panjang	PSA	2015	Manual	Chassis	ASC	Konecranes	P	
35	Netherlands	Rotterdam	World Gateway (RWG)	DPW	2015	Remote (ABB)	L-AGV (Gottwald)	ASC	Konecranes	V	
36	UAE	Dubai	Jebel Ali T3	DPW	2015	Remote (ABB)	Chassis	ASC	ZPMC	P	Remote
37	韓国	仁川新港	B	SNCT	2015	Manual	Chassis	ASC		P	Remote
38	Netherlands	Rotterdam	Maasvlakte II	APMT	2015	Remote (ABB, Kalmar)	L-AGV (Gottwald)	ASC	Künz	V	Automated
39	U.S.A.	Los Angeles	MOL	TraPac	2015	Manual	Automated Straddle (Kalmar)	ASC	Kalmar	V	Remote
40	Australia	Melbourne	MNICT	VICT (ICTSI)	2016	Manual	AutoShuttle (Kalmar)	ASC	Kalmar	V	Remote
41	Indonesia	Semarang	Petikemas (TPKS)	Pelindo III	2016	Manual	Chassis	ARTG	Konecranes	P	Remote
42	韓国	仁川新港	A	HJIT	2016	Manual	Chassis	ASC	Hanjin	P	Remote
43	U.S.A.	Long Beach	LBCT	OOCL	2016	Remote (ABB, ZPMC)	AGV (Terex, Gottwald)	ASC	ZPMC	V	Automated
44	Mexico	Tuxpan	Tuxpan	SSA	2016	Manual	Chassis	ASC	ZPMC	V	
45	香港	香港	CT9N	HIT	2016	Manual	Chassis	ARTG	MHMT	P	
46	Mexico	Lázaro Cárdenas	Lázaro Cárdenas	APMT	2017	Manual	Manual ShC	ASC	ZPMC	V	
47	中国	青島	QQCTN	QQGTN	2017	Remote (ZPMC)	L-AGV (ZPMC)	ASC	ZPMC	V	Automated
48	Greece	Piraeus	Pier III	PCT	2017	Manual	Chassis	ARTG	Kalmar	P	Remote
49	Oman	Sohar	C	HPH	2017	Remote (ZPMC)	Manual				Automated
50	Germany	Hamburg	CTB	HHLA	2017	Manual	Manual ShC	ASC	Künz	V	Automated
51	Singapore	Singapore	PSA Pasir Panjang	PSA	2017	Manual	Chassis AGV (Kalmar, Gaussin, Toyota)	ASC	Konecranes	P	Automated
52	中国	洋山深水	第4期	SIPG	2017	Remote (ZPMC)	L-AGV (ZPMC)	ASC	ZPMC	V	Automated
53	Indonesia	Kuala Tanjung (Batubara)	PT Prima Multi	Pelindo I	2018	Manual		ARTG	Konecranes		Automated
54	Italy	Ligure	Vado	APMT	2019	Remote (ZPMC)					Automated
55	Morocco	Tangier	Med Port II	APMT	2019	Remote (ZPMC, SIEMENS)	Automated ShC (Kalmar)	ASC	Kalmar		Automated
56	Singapore	Singapore	Tuas	PSA	2021 ~2040						
57	中国	深圳	塩田	TICT	未定	Remote (ZPMC)					
58	Pakistan	Karachi	SAPT	SAPTL (HPH)	未定	Remote (ZPMC)	Manual				
59	Oman	Sohar	D	OITC	未定	Remote (ZPMC)					

また、表に掲載した自動化コンテナターミナルは、通常、複数のバースを持つ。このため、バースの数はターミナルの数 50 よりも多いことに注意されたい。

自動化コンテナターミナルを稼働年代で整理すると、下記の特徴がある。

(1) 黎明期（1993 年~2004 年） 実験的にスタート

世界初の自動化コンテナターミナル「Delta Terminal」（図-3.1、写真-3.1、写真-3.2）が 1993 年にロッテルダム港にオープンして以来、2002 年に 5 番目のハンブルク港 CTA Terminal がオープンするまで 9 年間にわたってこの時期、自動化技術のレベルは様々で、自動荷役設備を実験的に導入してスタートし、技術的・経済的な安定に向けて試行錯誤を繰り返した時期といえよう。

この時期は初期トラブルによる稼働率の低下が顕著である。この時期の状況を象徴するふたつの事例を紹介する。ひとつはハンブルク港 CTA Terminal の事例であり、もうひとつはシンガポール港 PSA Pasir Panjang Terminal の事例である。

CTA Terminal を経営する HHLA に、筆者が訪問した際に、Drektor Vertrieb である Thomas Lütje 氏は、「導入当初の目的は、経営に占める高い人件費率、環境問題・都市問題等で拡張が困難な制約下で、利益率とコンテナの取扱能力を高める手段として自動化を決定した。コンテナ船を 2 か月間、無料で借り受けて、訓練した。」と述べている。さらに、「しかし、操業当時は初期トラブルが多く、18 か月間は当初予定していた収入につながらず、コスト割れが続いた。この時期は、『20 時間停止していても誰も気づかない』ことが発生し、メディアや労組からは『コンテナターミナルで稼働しているのはコーヒーメーカー以外に何もない Ghost Terminal だ。』との批判が続いた。」と述べている。

Thomas Lütje 氏に現在の状況を尋ねてみると、「自動荷役設備は順調に稼働し、中国の厦門港に次いで世界第 2 位の効率的な荷役を記録した。自動荷役の取扱目標値はすでに 9 年前に達成し、その事実をメディアに隠していたが、ノートパソコンが盗難にあい、自動化の導入効果がメディアにバレた。今では皆に広く知られるようになった。」と答えている。

一方、自動荷役設備の導入に際し、労働組合の反応はどうであろうか？

欧州では、労働組合は自動化に伴う失職や賃金カットの懸念から強い反対運動を起こしている。労組の反対運動を受けた HHLA では、「組合員 750 名で、在来荷役の場合 200 万 TEU の処理が限界であるが、自動化すれば 300

万 TEU を処理できるようになる。」と説得したが、労組の反対運動に抗えなかった。

さらに、HHLA は、ベテラン組合員に自動荷役設備の取り扱い方法を習得させようとしたが、労組の反対や組合員の適応力の問題があったため、断念している。Thomas Lütje 氏は、ベテラン組合員の対応を「45 年間右回りのワルツを踊ってきた人に、左回りで踊れと言っても無理だ。」と例えている。

このような状況のため、HHLA は、既存ターミナルへの自動化の導入を見送り、自動化コンテナターミナルの新設と、新規労働者の雇用を意思決定している。

自動化コンテナターミナルの稼働後、労組の意識に変化が現れている。自動化に伴い屋外労働作業が減り、労働災害がなくなったことから、労働環境や労働安全への関心が高まった。

アジアでも同様な試行錯誤が発生している。シンガポール港の PSA は、Pasir Panjang Terminal の第 1 期で、自動荷役設備として 2000 年に OHBC (Over Head Bridge Crane: 天井クレーン型のスタッキングクレーン) を三井造船から導入した。導入当初、トランシップ率の高いコンテナターミナルの効率を上げるため、AGV による水平輸送および OHBC による自動荷役を計画し、AGV を購入・走行テストを繰り返したが、トラブルやコスト増のため AGV の導入を断念し、有人シャシーによる水平輸送に切り替えた。このため、当初に計画した水平輸送とスタッキングエリアの全自動化は見送られ、スタッキングエリア内は OHBC で自動荷役を実現したものの、有人シャシーと OHBC 間のコンテナの受け渡しを遠隔操作により稼働せざるを得なくなった。

PSA では技術的・経済的課題のクリアに時間を要すると考え、同ターミナルの第 2 期では OHBC の導入を見送り、有人 RTG による在来荷役を採用している。

このように、初期に自動化したコンテナターミナルは、大小はあるものの、CTA Terminal や PSA Pasir Panjang Terminal と同様の状況にさらされている。また、この時期に、自動化の導入を検討していたターミナルオペレータは、これらの結末を様子見している段階といえよう。

(なお、PSA は、2014 年に AGV のプロトタイプを導入し、自動走行のテストを行っている。詳細は後述する。)

この時期の欧州の自動化コンテナターミナルは下記の特徴がある。

- ① 取扱能力の向上、人件費率の低減を目的に自動化を導入
- ② 労組の反発により既設ターミナルの自動化を断念し、新設ターミナルで自動荷役を実現
- ③ 多くの初期トラブルにより稼働率が低迷
- ④ 自動化ターミナル供用後は、労組の意識が変化し、労働環境および安全性の向上に関心が向く

一方、シンガポールにおいては欧州と事情が異なる。シンガポールは慢性的な労働力不足に陥っており、隣国からの越境労働者を受け入れている。また、少子化の傾向はわが国よりも強く、国および国民が自動化に積極的である特徴があるため、労組の反発はないが、しかし、Pasir Panjang Terminal において AGV 導入の断念に至った経過は自動化技術の信頼性を疑わせる結果となった。PSA が AGV 導入を再検討するのは Tuas Terminal の計画まで待つことになった。

(2) 先行利得期（2005 年~2009 年）先行投資による競争性優位

この時期に自動荷役設備の導入を決断したターミナルオペレータは、実験的にスタートした初期の自動化コンテナターミナルの稼働状況を分析し、技術的な信頼性や生産性の向上を確認したうえで、ライバルのコンテナターミナルに対し先行投資により競争優位性を確立することを目的にしている（図-3.2）。

また、この時期は、欧州以外の地域（豪州、米国、アジア、わが国）に自動化コンテナターミナルが誕生した時期である。先行利得期の初期にオープンした自動化コンテナターミナルの成功は、その後の自動化コンテナターミナルのパイオニアとなった。

この時期の特徴は、港湾労働者の人件費の削減とターミナルの稼働率の向上のため、自動化技術開発を進めたことと、豪州、米国では労組対応が重要な要素となっていることである。

豪州では、2005 年に豪州初の自動化コンテナターミナルである Patrick Terminals がオープンした。Patrick Terminals の親会社は、オーストラリア・ニュージーランドで港湾と鉄道による総合物流業を展開する ASCIANO である。かつて 20 年前、Patrick は、労組の支配による生産性の悪いコンテナターミナルの代表名であったため 1996 年に完全自動化によるコンテナターミナルの運営を計画し、University of Sydney (The Australian Centre of Field Robotics) と共同で、自動荷役設備を開発した。自動化方式は、Automated Straddle Carrier (商標登録 AutoStrad)

による荷役方式である。

豪州における自動化導入の背景には、Patrick 等の数社の港湾運営会社が港湾運営を寡占していたため競争性が無く非効率的な荷役状況であったことが、オーストラリア政府による新規のコンテナターミナルオペレータの誘致策を引き出したことがある。

一方、労組 (Queensland Transport Unions Federation) は、「自動化荷役と有人荷役とを比較した場合、生産性は同じレベルである。むしろ、自動化設備の投資額を荷主に負担させることになり、企業の競争力が下がる。」と、自動化に反発している。

2005 年のオープン当時、Patrick 社は、コンテナターミナルのうち、半分を自動化したが、残りの半分は有人による荷役方式を採用している。このような半々のオープンの目的について、Patrick 社は、「自動荷役設備の技術的信頼性の確認や自動荷役と在来荷役との能力比較を行うため」としている。

米国の場合、自動化の導入は労組との関係が深い。2007 年に、東海岸のヴァージニア港で米国初の自動化コンテナターミナルがオープンした。オープン当時のターミナルオペレータは APMT であるが、紆余曲折の末、現在は、Virginia International Gateway (VIG) である。VIG の Rich Ceci 氏 (Senior Vice President) は、筆者が 2016 年 10 月に VIG を訪問した際に、オープンまでの当時の状況を、「労組が港湾労働者をコンテナターミナルへ派遣する特有の港湾労働制度であることから、だれが派遣されるのか不明だ。VIG に派遣される可能性のあるすべての港湾労働者 3,500 人に対し、自動荷役の習熟訓練を実施した。」と述べている。さらに、Rich Ceci 氏は、「1 人当たり 104 時間の訓練時間を設定し、訓練を実施した。Training! Training! Training!」と、自動荷役設備の稼働のためには港湾労働者の Training (訓練) が重要であったことを強調している。

アジアでは、2005 年に名古屋港で、2007 年に釜山新港で自動化コンテナターミナルがオープンしている。

わが国では、名古屋港飛島コンテナターミナル (TCB) が、港湾運送事業者から資格を持つオペレータの派遣を受け、新規に稼働させている。

韓国では、下記の背景から政府の方針により、釜山旧港から釜山新港へコンテナターミナルの移設が行われた。この機会を利用して、釜山新港において自動荷役設備の導入に踏み切ったターミナルオペレータが多い。

- ①旧港はコンテナターミナルが都市部に立地し、コン

テナターミナル間が離れていたため、交通渋滞によりトランシップ貨物の横持に時間とコストがかかる。

- ②コンテナターミナルが都市部に立地しているため、物流施設の立地する土地が無い。
- ③仁川港の開発により、ソウル都市圏の集荷力が低下し、コスト競争力を上げざるを得ない。

旧港の各ターミナルは、新港への移転とともに、自動化荷役システムの導入を経営判断している。ただし、初期に移転したターミナルは、黎明期の技術の信頼性を確認できなかったため在来荷役方式を選択している。PNCの孫炯根氏は、「運営している6バースのうち、初期の3バースは、当時の自動化技術の信頼性に確証が持てなかったため在来型荷役方式でオープンした。後期の3バースは、技術の信頼性に確信を持ち、投資の価値があると経営判断した。」と述べている。

労組は、当初、雇用の機会を失う懸念から反発したが、各ターミナルは雇用の機会を増やすことにより労組の賛意を得ている。

韓国で自動化コンテナターミナルは釜山新港と同時期に、光陽港でも計画された。光陽港で計画された自動化コンテナターミナルは、Automated Transfer Crane (ATC) と AGV を組み合わせた自動荷役設備を導入する技術内容であった。しかし、光陽港はコンテナ輸送の需要低迷とコンテナターミナルのインフラの過剰投資となったため、港湾計画を凍結した。さらに、2015年に韓国政府の海洋水産部(わが国の国土交通省に該当)は、コンテナターミナルを自動車ターミナルへ用途変更するなど、大幅な見直しをせざるを得なくなった。このように、光陽港では自動荷役設備の導入が断念された。

断念に至った原因について、筆者が2016年6月に光陽港を訪問した際に、港湾管理者である麗水光陽港湾公社のHeonmo Yang氏は、「釜山新港は自動荷役設備の導入などにより生産性をあげたが、光陽港は在来荷役で、釜山新港に比べ生産性に劣る。地域性を偏重したインフラの過剰投資や、全国的な観点が欠けた港湾政策でなければ、光陽港においても自動化コンテナターミナルの実現の可能性がある。」と述べている。

以上のように、この時期は、自動荷役設備の技術的信頼性が向上し、自動化による長所と短所の評価が定まるとともに、自動化の長所を活かした先行利得を得るために、北米、アジア、豪州で自動化コンテナターミナルが誕生した期間である。一方で、韓国の光陽港のように、政策の失敗により自動荷役設備の導入を断念している事例もある。

また、自動化コンテナターミナルの進出は、各地域で労組の反発を招いた結果、労組との協調方法を確立した時期といえよう。

(3) 普及期 (2010年~2014年)

この時期は、自動荷役設備の技術的信頼性の確立を受け、さらに、労働安全性や自然環境保全の追求の観点から、世界各地で、年間平均約4自動化コンテナターミナルがオープンし、普及した(図-3.3)。

欧州では、スペインで2か所、ロンドンおよびロッテルダム港に大規模な自動化コンテナターミナルが誕生している。

スペインでは、自動化による生産性の向上を目的として、アルヘシラス港、バルセロナ港の2港が、他の在来荷役型コンテナターミナルに対し、先行利得型の自動化コンテナターミナルが誕生している。ロンドンでは、在来荷役型のFelixstowe港に対し、自動化したLondon Gatewayが誕生している。

ロンドンには、在来荷役型のFelixstowe港と、黎明期の1994年に自動荷役設備を導入したLondon Thamesportがあったが、Hutchison Whampoa Holdings (HWH) が、1994年にFelixstoweを、1998年にLondon Thamesportの経営権を取得し、英国の海上物流を独占したため、2006年に英国政府は競争政策の一環としてDP WorldにLondon Gatewayの設置を許可した。DP WorldはHPHに対抗し、自動化の導入による生産性の向上を狙い、London Gatewayを2013年に供用させた。

London Gatewayはテムズ川沿いに位置し、HPHのThamesportと競合している。DP Worldは新規に自動化コンテナターミナルを開設したわけではなく、もともと、上流に設置されたTibury Container Terminalの経営権を買い取って在来荷役型のコンテナターミナルを運営していたが、Tiburyの経営権を売却し、総額1.5b£(約2,600億円)をかけて下流に大水深かつ自動化を採用したLondon Gatewayを建設した。2016年7月に筆者がLondon Gatewayを訪問した際に、DP WorldのLuis Turbides氏(Head of Operation)とJames Leeson氏(Head of Port Commercial)の両氏は、「自動化の導入は、Hutchison Whampoa (HWP) が経営するLondon ThamesportおよびFelixstoweに対抗するためだった。」と述べている。

London Gatewayの特徴として、DP Worldはコンテナターミナルの背後に物流団地を併設させていることである。DubaiのJebel Ali港と共通する物流戦略を採用しHPHに物流戦略の観点でも優位に立てることを狙っている。

ロッテルダム港では、ライバルであるハンブルク港、ブレーマーハーフェン港、アントワープ港、ルアーブル港との生産性で優位に立つために自動化を積極的に導入している。筆者が2016年1月にロッテルダム港湾局を訪問した際に、Arwin Stehouwer氏（Senior Business Manager Container Terminals）は、「環境問題（大気汚染、騒音、光害）を抱えるハンブルク港や、多国間協議（国際河川の浚渫・拡張）を抱えるアントワープ港との生産性競争で優位に立つ戦略として自動化を進めた。」と述べている。Arwin Stehouwer氏はMaersk Line出身で、コンテナに関する豊富な知見を買われてロッテルダム港湾局に勤務し、コンテナ戦略を立てている責任者である。

一方、米国では、東海岸で2番目の自動化コンテナターミナルであるGlobal Container TerminalがNY/NJ港にオープンし、さらに、西海岸で最初の自動化コンテナターミナルであるTraPacがLos Angeles港でオープンしている。

米国の労組は、2003年の米国西海岸の大規模ストライキの際に、多額の補償金と引き換えに自動化の導入に合意している。ただし、合意した自動化の対象は、コンテナターミナルのスタッキングエリア内の荷役に限定しているため、海側の岸壁荷役（STS：Ship-To-Shore Crane）および陸側のコンテナ荷役（Trailer）は在来荷役型である。

（注：「STS」はShip-To-Shore Crane, Ship-To-Shore Container Crane, Ship-To-Shore Gantry Craneなど、荷役機械サプライヤーによって呼称が異なるが、略称は「STS」で共通である。「Quay Crane」と呼ばれることもある。わが国では、STSを指して「ガントリークレーン」と呼ぶ場合が多い。一方、海外で「Gantry Crane」は、STS, RTG, RMGなどを含む港湾荷役機械全体を指す一般呼称である。本報告では、RTG, RMGなどの港湾荷役機械との区別を明確にするため、STSの表記を使用した。）

TraPacの社長Frank Pisanoは、2016年9月に筆者が訪問した際に、当時の労組ILWU（International Longshore and Warehouse Union）の状況を、「ILWUとPMA（Pacific Maritime Association）との2008年合意により、ILWUは自動荷役を受け入れた。ILWUの組合員は常勤で14,000人いるが、ILWUは、自動荷役が原因で2008年以降に10,000人を臨時職員に転籍せざるをいないと予想していた。しかし、実際は、自動荷役導入後も常勤の14,000人を維持しており一人も減っていない。」（注：PMAは、米国西海岸の労働組合ILWUと交渉するために設立された78社の船社・ターミナルオペレータの連合会）と述べている。

米国の東西岸で自動化コンテナターミナルがオープンしたことにより、米国2大港湾労働組合である西岸の

ILWUと東岸のILA（International Longshoremen's Association）の姿勢の違いが浮き彫りになった。西岸のILWUは、東岸のILAに比べ、自動化に前向きである。背景には、ILWUは、パナマ運河第3閘門の供用により、太平洋航路のコンテナ貨物の揚げ降ろしが西岸から東岸へシフトし、西岸のコンテナ貨物量が減ることを恐れているためである。TraPacに出資する商船三井（株）常務執行役員・米州総代表の小西俊哉氏によれば、「ILWUの今後の戦略として、自動化コンテナターミナルの普及とともに港湾労働者の派遣先を単純労働からITシステムにシフトさせ、ITシステムの操作に組み込もうとしている。いずれ、ITシステムの操作が組合交渉の対象となると予想される。」と、ILWUの自動化に前向きな姿勢を指摘している。

これに対し、ILAの委員長のHarold J. Daggett氏は、完全自動化に対し反対をする声明を発表している（Daggett(2017)）。

欧米のターミナルオペレータ間で注目を集めたことは、中国で初の自動化コンテナターミナルが厦門港にオープンしたことである。厦門港の自動化施設の取扱能力の高さや、中国企業のみで自動化を実現した事実は、世界のターミナルオペレータに衝撃を走らせることになった。たとえば、Hamburg港のHHLAのThomas Lütje氏は、「世界で最も効率の高いコンテナターミナルである。」と中国の技術の高さを指摘している。

アジアでは、インドネシアの2港で自動化コンテナターミナルが誕生している。インドネシアでは、将来の需要増に対応することを主として、自動化を導入している。ただし、他の自動化コンテナターミナルとレイアウトが異なる特徴がある。海側とスタッキングエリアを隣接させている欧米日本型レイアウトとは異なり、インドネシアでは遠浅の地形であることから、大水深を確保するためSTSを沖合に設置し、スタッキングエリアは内陸側に設置するレイアウトが多い。このため、水平輸送距離が延びるため、稼働効率を上げるためにはShCやAGVの数を多くする必要がある。

上記の内容を、普及期の自動化コンテナターミナルの特徴として下記のようにまとめることができる。

- ①自動荷役技術の信頼性の確立
- ②労働安全性、自然環境保全の認識が浸透
- ③労組との協調体制の確立

(4) 新たな展開期 (2015 年以降)

この時期は、欧米では、自動荷役設備の世界的な拡大後、自動化コンテナターミナル間の生産性の競争が始まるとともに、新たな地域 (中南米、アフリカ、アジア) における自動荷役設備の導入の動きが出ている (図-3.4)。また、自然環境保全の認識が普及期よりもより一層強くなり、いわゆる「ゼロエミッション」を唱える自動化コンテナターミナルが誕生している。

欧州では、APMT が、自動化コンテナターミナルの空白地域であった地中海沿岸のリーグレ港 (イタリア) に自動化コンテナターミナルを計画している。

中米 (パナマ、メキシコ) とアフリカ (モロッコ) では、**図-3.4** の青丸印が新たな動きが出ているコンテナターミナルである。

中南米では、メキシコのラサロカルデナス港で APMT が新規の自動化コンテナターミナルを稼働させる一方で、パナマのコロン港では在来荷役型のコンテナターミナルを自動荷役設備に取り換えて自動化させている。

アフリカでは、モロッコのタンジェ新港で、APMT が、ジブラルタル海峡をはさんだ対岸のアルヘシラス港 (スペイン) に対抗し、最新鋭の自動化コンテナターミナルを整備している。

アジアでは、中国で、青島港および洋山深水港第 4 期で、最新鋭の自動化ターミナルが稼働するとともに、イン

ドネシアのクアラタンジュン港やシンガポールの Tuas Terminal で新たな自動化コンテナターミナルの設置が計画されるなど、需要増が予想される港湾で自動化の導入が進んでいる。

さらに、後述するように、自動荷役設備のサプライヤーとして名乗りをあげた中国サプライヤー ZPMC は、中国深圳港やパキスタン、オマーンへ自動荷役設備を導入する計画を持っている。

一方、自動荷役施設は、労組の反対にあい、導入されなかった事例もある。

筆者が 2016 年 9 月にパナマのバルボア港の Panama Ports Co. を訪問した際に、自動荷役施設の導入の可能性について質問したところ、「自動荷役の導入を検討したが、労働組合の反対にあい、導入を断念した。」と述べている。コロン港の在来荷役を自動化に順次置き換えている MIT と対照的である。(Panama Ports Co. は、香港に拠点を置くハチソンポアグループ (HPH) が 100% 出資するターミナルオペレータである。)

上記のように、中には自動荷役の導入を断念したケースもあるが、自動化コンテナターミナルの数は増えている。今後は、ターミナル間の生産性競争と新たな地域への導入が進むと予想される。

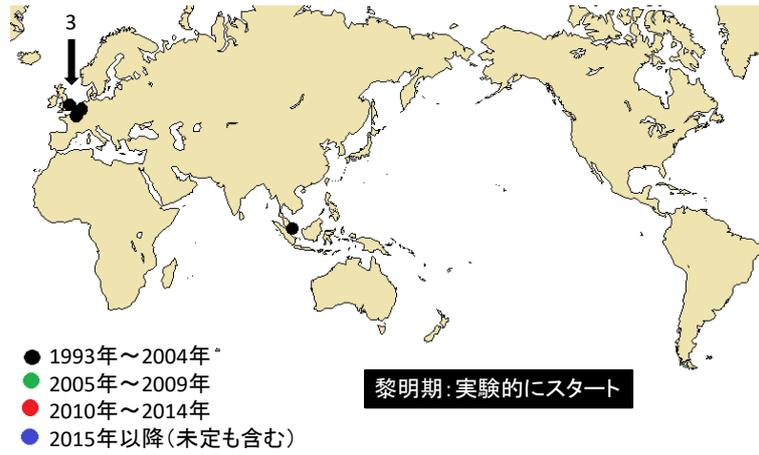


図-3.1 黎明期 (1993年～2004年)



写真-3.1 世界初の自動化コンテナターミナル「Delta Terminal」(筆者撮影)

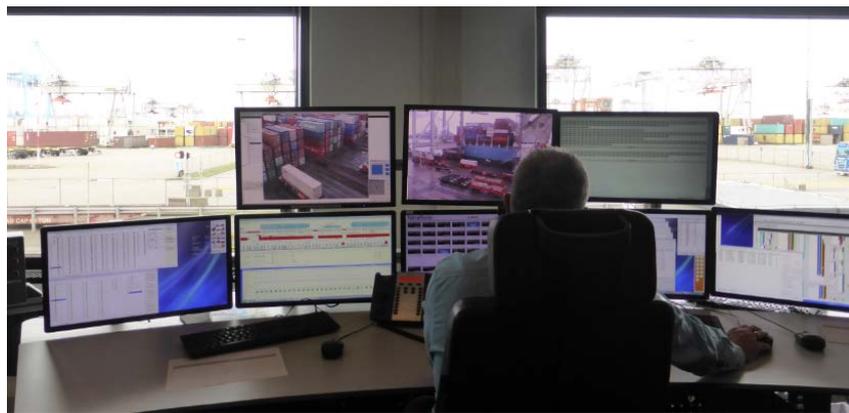


写真-3.2 Delta Terminal のオペレータールーム (筆者撮影)

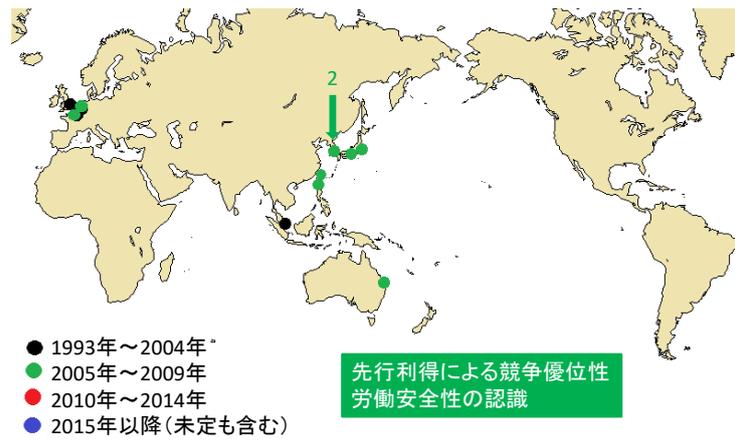


図-3.2 先行利得期 (2005年～2009年)

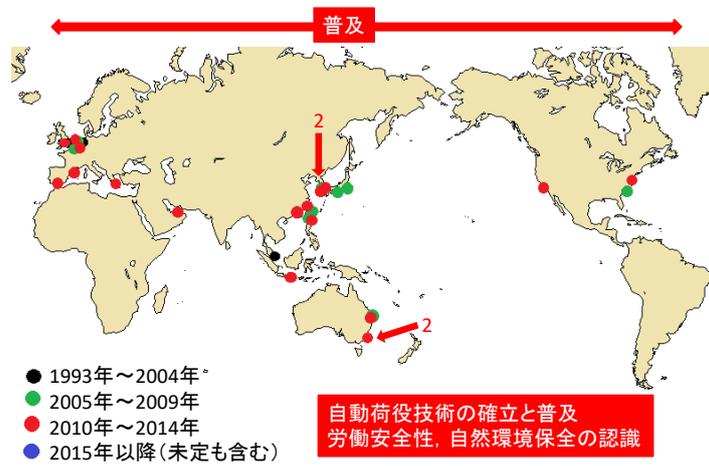


図-3.3 普及期 (2010年～2014年)

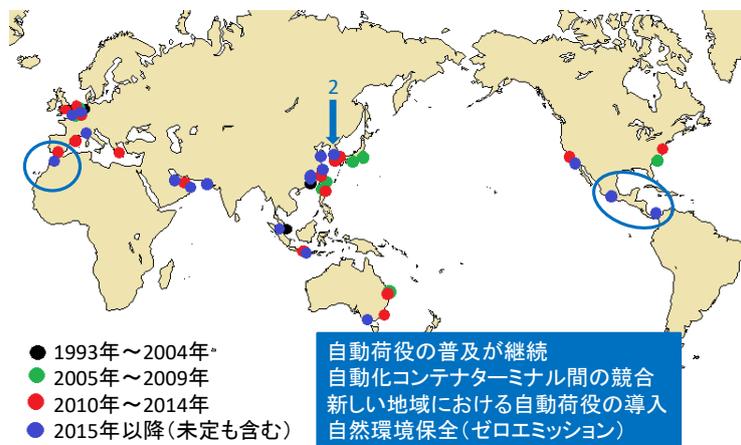


図-3.4 新たな展開期 (2015年以降, 未定も含む)

3.2 自動荷役の長所、短所

世界で稼働している約 50 の自動化コンテナターミナルを対象に分析すると、自動荷役の長所と短所は表-3.2 となる。

長所の中で、港湾労働者の人件費の高い地域においては顕著な効果があるとともに、労働安全性の高さも顕著な事項である。さらに、船社の立場からみると、自動化により 365 日 24 時間、昼夜を問わず同一料金でコンテナターミナルを利用できるようになる。在来荷役型では、人件費の割増しなどが必要となるため、深夜割増料金などを徴収する必要があるが、自動化が進めば深夜割増料金を設定する必要がなくなる。深夜割増料金が設定されているターミナルに着岸する場合、船社は夜間の荷役を避けるため沖合で時間調整を強いられる場合があるが、自動化が導入されれば昼夜を問わず、昼夜同一料金でいつでも荷役を行えるため、船社の長所として大きい。

一方、短所としては、多額の初期投資が必要となることや労組との協調が必要であることがあげられる。

表-3.2 自動荷役の長所、短所

長所	短所
<ul style="list-style-type: none"> ①一貫した操作 ②労働賃金を資本費に切り替え ③安全性の高さ ④強風などの外的要因による休止率の低さ ⑤労働環境に左右されず 24 時間連続稼働可能 ⑥高密度にヤードを利用可能 ⑦ヒューマンエラーの撲滅と信頼性の向上 ⑧環境に優しい ⑨設備や荷痛みの削減 ⑩ターミナルは必ずしも完全自動化を必要としない。一部の自動化でも効果がある。 ⑪24 時間 365 日、荷役・寄港を同一料金で実現可能 	<ul style="list-style-type: none"> ①自動化は多額の初期投資が必要 ②自動化ヤード設備は極めて広い設置場所が必要 ③自動化ターミナルはいったん導入すると配置等の変更が困難 ④一時的に作業を止める場合、在来型のターミナルの方が容易 ⑤ターミナル内の作業は均質ではないため、自動化のためには学習効果と予測性が必要 ⑥労働組合との交渉が必要 ⑦自動化はターミナルによって異なる極めて高いオーダーメイド品 ⑧在来型ターミナルにおける試行錯誤は容易であることに對し、自動化プロジェクトにおける試行錯誤は困難で大きなリスクを伴う。

3.3 自動化コンテナターミナルの普及の要因

一方、自動化コンテナターミナルの長所と短所があることと、2010 年以降に世界的に普及し、オープンすることとは別である。そこで、2010 年以降にオープンしている自動化コンテナターミナルを対象に、普及した要因を整理すると、表-3.3 にまとめることができる。

表-3.3 自動荷役普及の要因

<ul style="list-style-type: none"> ①利益率の改善, 労働環境の改善, 自然環境保全 <ul style="list-style-type: none"> ✓コンテナターミナル間の生産性競争の激化 ✓労働災害の頻発に対する労働組合からの反発 ✓用地取得の困難, ゼロエミッションの実現 ②労働価値観の変化, 多様な人材の確保 <ul style="list-style-type: none"> ✓生活レベルの向上に伴い, よりよい労働環境を希求 ✓女性・障害者の社会進出への対応 ✓移民問題 ③物流の変化に對応 <ul style="list-style-type: none"> ✓大型コンテナ船 (20,000TEU)の荷役時間を 48 時間以内に ✓365 日 24 時間オープン, 同一料金 ④自動化で先行する産業からの啓発 <ul style="list-style-type: none"> ✓自動車の組立工場, 全自動倉庫等の先行事例 ✓トレーラーの自動運転 (Self-Driving)との連携 ⑤ソフト・ハードウェアの使いやすさの改善 <ul style="list-style-type: none"> ✓クラウド, モバイル, オープンソースなどの技術向上で, 誰でも使用可能に ⑥イニシャルコスト, ランニングコストの低減 <ul style="list-style-type: none"> ✓自動荷役技術の確立, パターン化 ✓設備投資に對する損益分岐点の低下 ⑦自動荷役のための安全基準類 <ul style="list-style-type: none"> ✓工学機械に適用される欧州共同体 EC 指令「Directive2006/42/EC new machinery directive」が 2006 年 5 月に発効となり, 基本的な健康と安全に関する要件が追加。 ✓リスク管理のための重要な規則 <ul style="list-style-type: none"> ・ DIN EN ISO 12100:2010 safety of machinery ・ DIN EN ISO 13849 Safety-related parts of Control system ✓欧州共同体適合宣言「EC declaration of conformity」などの規則の遵守を徹底

(1) 利益率の改善, 労働環境の改善, 自然環境保全

欧米豪州においては、隣接する港湾間の生産性競争が激化していることや、港湾労働者の連続死亡事故に對する労働組合からの反発、自然環境保全の要請がある。

利益率の改善については次節で記述する。ここでは、労働環境の改善と自然環境保全の要因に触れる。

港湾労働環境事故に関するニュースが多い。たとえば、Longshoreshippingnews (2013) には Tacoma 港で同月中に

2件の死亡事故が発生したため、港湾労働者が死亡事故に対する反発から港湾ストライキを起こしたことを伝えている。このほかにも、港湾労働者の死亡事故に反発する記事が多くある。事故の発生は未だに無くならず、2018年1月にも、Longshoreshippingnews (2018) が死亡事故を伝えている。

自然環境保全の世界的な動きを紹介しよう。

欧州では、ロッテルダム港 Maasvlakte II で、APMT が、自然環境保全の観点から世界初のゼロエミッションを実現した自動化コンテナターミナルを稼働させている。

ハンブルク港や LA/LB 港では、自然環境保全や公害防止の観点から埋め立てを制限しているため、用地取得が困難になっている。ハンブルク港は、北海から 100 km 内陸のハンブルク市内で、エルベ川沿いに立地するため港湾の拡張用地がないばかりか、港湾に隣接する住宅の住民から、大気汚染、騒音、夜間照明による光害の訴訟を起こされ、さらに、港湾活動に対し、政党の「ドイツ緑の党」から反対運動を受けている。このような経緯から、年々、自然環境保全や公害防止の対応の比重が高くなっているといえよう。たとえば、ハンブルク港に入出港する 20,000TEU クラスの大型コンテナ船はエルベ川を満潮時の約 30 分間しか通過できない浅い箇所（水深 13.5m）を通過せざるを得ないため、ハンブルク港は 16 年前に 1m の浚渫の許可申請を提出したが、環境団体の反対訴訟を受け、最高裁で係争することになった歴史を持つ。さらに、自然環境保全の対応は様々な取り組みに波及しており、たとえば、ハンブルク港のターミナルオペレータ HHLA は、港湾内の環境が衛生的であることを広報するため、港湾内で養蜂業を営み、ハチミツを「Hamburger Gold」というブランドで出荷している。

米国では、既存の土地の中で生産性をあげざるを得ない状況となるとともに、LA の TraPac, LB の LBCT のように自然環境保全を前提に自動荷役を導入している事例もある。

筆者が 2016 年 9 月にロサンゼルス港湾局 (Port of Los Angeles) の森本政司氏 (Assistant Director of Cargo Marketing) を訪問し、自然環境保全に関する米国の状況を尋ねたところ、「米国では港湾の環境負荷を減らすための動きが活発で、” Sustainable Freight Action Plan” (2016 年 4 月 29 日) により、化石燃料を使用する機器の改善、インフラ投資、Operator Proceedings が決められた。この結果、港湾の埋め立て造成は今後困難となる。港湾関係者は、既存の用地の範囲内で港湾の生産性の向上に取り組まざるを得ない状況になった。」と述べる一方で、「ロサンゼルス

港のコンテナは今後も増加するため、将来に向けて取扱能力を現行の年間 1.5mTEU から 3.0mTEU に増やざるを得ない。」と、自然環境保全と、港湾の取扱能力の向上という両方の施策を進めていく方針を述べている。

アジアでは、中国は、当初、スペースと労働力は無尽蔵にあると考えていたが、今は、電気による自動化を進め、鉄道事業に力を入れるなど環境重視へ移行している。シンガポールの PSA は、現在の在来荷役型コンテナターミナルを閉鎖して、電気により自動化した新コンテナターミナルの開発へ乗り出している。

このような背景を受け、自動荷役設備の導入は、コンテナヤード内の荷役を無人化することによる港湾労働環境の改善や、自動化に合わせて電動化することによる自然環境保全が期待されるようになった。

(2) 労働価値観の変化、多様な人材の確保

生活レベルの向上に伴い、労働価値観が変化している。屋外港湾労働は気候状況の厳しい労働環境にある。Hamburg 港の HHLA の Thomas Lütje 氏は、「2015 年に新規雇用者 150 人を採用した。公募しなくても、ロコミで 2,500 人の応募があり、HHAL と労組の採用試験を経て、IT に強い 150 人に絞りこんだ。若い職員は IT に全く抵抗が無く、『全自動屋外倉庫』に就職する意識だ。」と述べているとともに、「手続きをペーパーレスに変更したところ、55 歳の港湾労働者は顔を真っ青にして、『ターミナルではない。工場だ。』と嘆いた。」というエピソードを紹介している。このような労働価値観の変化はハンブルク港だけの傾向ではなく、世界の各地のターミナルオペレータから話を聞くことができる。

一方、社会的要請として、女性・障害者の社会進出への対応がある。オフィス内における遠隔操作は女性や障害者の社会進出の機会の提供につながっている。また、女性の社会進出はターミナルオペレータにとっても歓迎されている。たとえば、ロサンゼルス港では、TraPac 社長の Frank Pisano 氏は「米国には男女の差別はない」と述べるとともに、インドネシア・スラバヤ港の Terminal Teluk Lamong の Agung Kresno Sarwono 氏や、韓国・釜山新港の BNCT 代表理事の崔英培氏、HJNC 常務の姜富馨氏、PNC の孫炯根氏、HPNT の Moon In-WOO 氏の各氏は、「女性オペレータを採用したところ、トレーラーの男性ドライバーとのトラブルが少ない。」と述べている。

さらに、欧米では港湾労働者に移民が多いため、移民の受け入れをめぐる政府の方針により労働力不足に陥る恐れがある。ETC Delta の Ulco H. Bottema 氏や HHLA の

Thomas Lütje氏は、「自動化は労働力不足に陥る政策リスクを減らすことにつながっている。」と述べている。

(3) 物流の変化に対応

コンテナ船の大型化は荷役時間の長時間化を惹起しており、船社にとってはコンテナ船の配船およびターミナル料金の上昇につながっている。船社は、20,000TEUクラスの大型コンテナ船の荷役時間を短時間（たとえば10,000Boxを48時間以内）で荷役できるよう、コンテナターミナルへ要請するとともに、ターミナルオペレータにとっては船社を逃さないためにもターミナルの荷役能力の向上が課題となっている。

一方で、荷役時間の長時間化は、昼夜を問わず連続して荷役が行われるが、在来荷役においては深夜労働にかかわる人件費の割増等が発生するため、船社はターミナルコストの削減の観点から、「365日24時間オープン、同一料金」を要請している。

自動化コンテナターミナルは、取扱能力の向上および昼夜同一料金の実現によりターミナルコストの削減ができるため、船社の要望をかなえる手段となる。

(4) 自動化で先行する産業からの啓発

自動車の組立工場、全自動倉庫等、屋内においては、多くの産業で信頼性の高い自動技術が使用されている。さらに、自動車やトレーラーの自動運転（Self-Driving）技術の開発とともに、サプライチェーン全体の自動化に取り組む動きが出てきている。豊田自動織機、安川電機、TMEIC、SIEMENS、ABB等は港湾に限らず様々な分野で自動化事業（遠隔操作、完全自動など）を行っており、港湾の自動化においても、自ら保有する高いレベルの自動化技術を生かして港湾分野に参入している企業（サプライヤー）である。

(5) ソフト・ハードウェアの使いやすさの改善

クラウド、モバイル、オープンソースなどの技術向上で、誰でも使用可能になり、特殊能力の保有や男女問わず、自動荷役設備を使用できるようになってきた。

(6) イニシャルコスト、ランニングコストの低減

後述するように、自動荷役技術は技術的な信頼性が向上し、最も効率的な技術の組み合わせパターンに集約されるようになり、量産化による規模の経済が働くようになってきた。さらに、省エネ技術の向上とともに、自動荷役設備の省エネも進んだ。この結果、自動荷役設備の投資費用（イニシャルコスト）や運営費（ランニングコスト）

が下がり、設備投資に対する損益分岐点が低下したため、ターミナルオペレータにとって自動荷役設備を導入しやすい経営環境が整ってきた。

(7) 自動荷役のための安全基準類

各国では、内容や適用時期が異なるものの、自動化コンテナターミナルに適用となる安全基準類が整備され、工学機械による基本的な操作と安全、リスク管理のための重要な規則などの遵守の徹底がされている。しかし、各国によって対応レベルが異なり、実質的に、工学機械の包括的安全基準などはEU基準が世界の労働安全衛生のグローバルスタンダードとなっている。わが国の製品を欧州に輸出する場合、EU基準の遵守が必要となる。

EUが安全基準の整備に早期に取り組み、EUの安全基準が世界のグローバルスタンダードになった背景には、欧州内に、「自動荷役技術システムにAI技術を導入し、他の制御システムと統合させて大規模化することは、システムの暴走のリスクや社会的な被害を拡大させるのではないか？」という強い懸念が根強くある。

一方、わが国では労働の安全基準類の整備が遅れた。たとえば、企業における安全配慮義務は、雇用者が労働者の安全な労働環境を提供する義務を負うことであり、今では当たり前になっている。しかし、今日に至るには、下記のような紆余曲折を経なければならなかった。わが国の安全基準類が遅れた代表事例として、安全配慮義務の法定までの経過を見てみよう。

現行の体系は、以下のようになっている。

日本国憲法第27条で「賃金、就業時間、休息その他の勤労条件に関する基準は、法律でこれを定める。」とされ、労働基準法（1947年施行）および労働安全衛生法（1972年施行）が制定され、法、規則、指針等が幾度の改正や、この間に男女雇用機会均等法の制定を経て現在の基準が成り立っている。コンテナターミナルに関しては、労働基準法に加え、労働安全衛生法のクレーン等安全規則（通称「クレーン則」）が詳細な取り決めの原則を定めている。

しかし、わが国の場合、労働者に対する安全配慮義務等は、労働基準法および労働安全衛生法の制度のみではなく、歴史的に判例によって定まってきた特殊性がある。このため、裁判の結果によって安全配慮義務が変容し、安全配慮義務を負う企業は、裁判の結果が出るたびに安全対策の方針を変更せざるを得なかった。

判例の経過を紹介しよう。

1972年に門司港運事件が発生し、福岡地裁小倉支部において、企業の安全配慮義務違反を理由として被災労働者側の損害賠償請求を認める初めて司法判決が出された。

その後、1975年の自衛隊八戸駐屯隊車両整備工場事件の最高裁判決の判例（1975年2月25日第三小法廷判決）により企業の安全配慮義務違反が明示された。

最高裁の判断は、以下の通り。「公務員」を「労働者」と読み替えれば理解しやすい。

「国は、公務員に対し、国が公務遂行のために設置すべき場所、施設もしくは器具等の設置管理又は公務員が国もしくは上司の指示のもとに遂行する公務の管理にあたって、公務員の生命及び健康等を危険から保護するよう配慮すべき義務（以下「安全配慮義務」という。）を負っているものと解すべきである。（中略）右のような安全配慮義務は、ある法律関係に基づいて特別な社会的接触の関係に入った当事者間において、当該法律関係の付随義務として当事者の一方又は双方が相手方に対して信義則上負う義務として一般的に認められるべきものであつて、国と公務員との間においても別異に解すべき論拠はない」

この判例は、公務員、民間を問わず、使用者（雇用者のこと）に対する広範な安全配慮義務を認めると同時に、「民法第1条第2項の信義則に基づき、使用者は、労働者が使用者の設置する場所、設備若しくは器具等を使用し又は使用者の指示の下に労働を提供している場合、労働者の生命及び健康等を危険から保護するよう配慮すべき義務（以下「安全配慮義務」）を負っているものと解するのが相当である。」とした。

最高裁の判例による影響をまとめると、つぎのようになる。

- ① 労働安全衛生法は、立法当時にこのような安全配慮義務は想定しておらず、使用者は労働契約上の付随義務として安全配慮義務を負っていることを前提にしていなかったこと。
- ② 安全配慮義務の根拠を民法上の信義則に置いたこと。
- ③ 最高裁の判例は幅広く解釈できること。

つまり、最高裁の判例が出たことにより、使用者となる企業にとって、安全配慮義務の範囲を広範なあらゆる領域に及ぶと広く取らざるを得ない状況を生んだ。港湾運送事業者やターミナルオペレータにとっても、適用になる安全配慮義務が判例によって変容することは、企業の投資意欲や投資計画に影響することとなった。

安全配慮義務が、労働契約上の付随的義務として当然に使用者が義務を追うことが初めて法定されたのは、労働契約法（2008年施行）である。安全配慮義務が問題になってから法律に明定するまでに36年を要している。

わが国の場合は、安全基準類の制定をリードしたEUと対照的といえよう。

3.4 自動化コンテナターミナルの取扱能力と生産性

自動化コンテナターミナルの取扱能力や生産性はどの程度であろうか？ 現在稼働している自動化コンテナターミナルを、いろんな角度から検証してみよう。検証に当たっては、内部資料等のデータは使用できないため、公表されているデータやヒアリングで公開の了解を得たデータを使用する。

(1) 基幹航路を捕まえるためには（船社の要請）

商船三井が2017年に世界最大のコンテナ船「MOL Triumph」を就航させた（写真-3.3）。長さ400m、幅58.8m、積載コンテナ数20,170TEUで、20,000TEUを超える。商船三井は同型船6隻で船隊を組む方針だ。さらに、同年にはOOCLが積載コンテナ数で商船三井のコンテナ船「MOL Triumph」を上回るコンテナ船「OOCL Hong Kong」を就航させ、世界最大のコンテナ船隊を保有するようになった。長さ399.87m、幅58.8m、積載コンテナ数21,413TEUで、OOCLは2018年1月までに同型船G-Class 6隻を就航させている。これ以外の船社COSCO等においても20,000TEUクラスの大型コンテナ船を就航させる予定である。

2017年のPort Technology International (PTI: 英国に本社を置く港湾専門情報配信会社) 主催の国際会議「Container Terminal Automation Conference」において、船社はコンテナ船を大型化する一方で、ターミナルでの荷役時間を長期化することなく配船する意向が強いことが紹介されている。要請の具体的内容は、船社からターミナルオペレータへ、「20,000TEUクラスの大型コンテナ船の荷役時間を48時間以内に.365日24時間オープン、同一料金の実現。」というものである。

図-3.5はQuintiqがフランスのLe Havre港コンテナターミナルを対象にして実施したシミュレーション結果である。この結果によれば、18,000TEUクラスのコンテナ船に対し、揚げ積みで11,230本（Movementである。TEUではない。）の荷役を行うには、在来荷役で、荷役時間は56時間、港湾労働者は延べ1,500人が従事する必要があることを示している。しかし、同時に、Quintiqは、自動化を導入すれば48時間以内で荷役を終えることが可能というシミュレーション結果も出している。QuintiqのGeneral manager for Asia PacificであるKris Kosmala氏は、「船社はターミナルオペレータに対し、48時間以内の荷役完了を要請してくるだろう。ターミナルオペレータは自動化の導入を選択せざるを得ない」と指摘している。

ここで、20,000TEUの大型コンテナ船を48時間で荷役を終了するとする場合、年間取扱量はどの程度になるか

試算してみよう。

20,000TEUの大型コンテナ船で、2バース占有し、揚げ積み10,000本(40フィート:20フィート=1:1)、年間56隻入港と仮定すれば、48時間以内で荷役を終了するためには42万TEU/バースの能力が必要となる。STSの能力は33本/機となる。(10,000本÷48時間=約200本/時間。STS6機で荷役する場合、200本÷6機=約33本/機。)

つまり、20,000TEUの大型コンテナ船が週2日寄港するだけでも42万TEU/バースに相当する計算になる。後述するように、ロサンゼルス港のTraPacや釜山新港のBNCT等が目標としている1バース当たりの年間取扱量と同規模になるほど大規模な取扱量である。

この試算を前提にすると、バースには週の残りの5日間に他のコンテナ船も係留し、荷役を行うので、個々の自動化コンテナターミナルにより条件が異なるものの、船社がターミナルオペレータおよびコンテナターミナルに期待する取扱目標量はさらに多くなると推定できる。

なお、自動化コンテナターミナルの取扱能力は(4)を参照されたい。

(2) 利益率の改善

表-3.4は、在来荷役型コンテナターミナルへ自動荷役設備を導入した場合、どのように経営状況が変化したか、Kalmarが2016年6月にPTI主催国際会議で公表したデータである。原データは、TraPac, Patrick, London Gatewayの3ターミナルのデータで、いずれのターミナルもKalmar製品により自動化を実現している。

もっとも注目すべき点は人件費が60%下がったことと、利益が125%増えたことである。

米国の人件費は、PMA(2015)によると、平均給与US\$161,000/年、最低年金US\$89,000/年、さらに、充実した福利厚生などが保障されている。また、欧州のETC Deltaを筆者が2016年1月に訪問した際に、Ulco H. Bottema氏は「オランダの平均賃金は手取りで€35,000/年に対し、港湾労働者の最低賃金は手取りで€50,000/年である。」と述べている。

また、利益率の改善に関して、商船三井(株)常務執行役員で米州総代表の小西俊哉氏は、2015年11月のTraPac訪問時の段階で、「自動荷役と在来荷役を比較すると、自動荷役は1時間当たりの取扱本数が20%減(有人荷役STSと自動化したA-ShCとのコンテナ受け渡しは20本を下回る状況)となった。生産性の悪い原因は、自動荷役設備(水平輸送のA-ShCおよびスタンキングエリア内のASC)の衝突防止のため緊急停止システムが作動するトラブルなどが多いことである。一方で、コストは40%減

となった。コストを減少させた要因は人件費の削減であり、米国の場合、高い人件費による在来荷役がいかにコンテナターミナルの生産性を悪くしているか数字上でも明確になっている。」と述べ、自動荷役により稼働率が20%減しても、コスト40%減により結果的に利益率が20%向上していることを示している。

さらに、小西氏は、自動荷役の導入に関し、「水切りのSTSについても自動化を進めることによりコスト削減は可能であるが、労働組合との自動化導入の合意事項に含まれていないため、現在のところ考えていない。」と述べ、岸壁荷役に関しても自動荷役を導入すれば利益率の改善につながることを示唆している。

このように、米国およびオランダの港湾労働者の賃金は平均賃金よりも高いため、自動化による港湾労働者の削減は大きなコストカットとなる。

また、利益率の観点では、前述のTraPacの予想(次節参照)のように、初期トラブルが解消すれば、自動荷役施設の導入により、単位面積当たりの取扱能力を2倍に拡張させることができ、利益率を上げることができる。

さらに、Konecranesによれば、自動荷役設備の稼働状況を在来荷役型と比較すると図-3.6になる。一人のRTGオペレータが最大15機を同時に遠隔操作することができる。在来荷役ではドライバーがRTGに乗車したまま待機するためアイドリング時間が発生するが、自動化することによりこのアイドリング時間を削減することができる。同国際会議において、Tuomas Saastamoinen氏は、「25%の効率性を向上させることができる。」と説明している。

(3) 自動化コンテナターミナルの採算性

採算性の議論にあたっては、自動荷役設備の採算ラインとなる取扱量と、目標とする取扱能力とは異なる議論であることに注意する必要がある。また、採算性を調査するにあたり、一般に、ターミナルオペレータは経営状況を公表していないことが多いため経営状況を正確に判断することはできないが、公表している資料やヒアリングから経営状況を推察することは可能である。

そこで、米国と韓国の事例で推察してみよう。

ロサンゼルス港のターミナルオペレータであるTraPacがロサンゼルス市に提出した環境報告書(Environmental Impact Report, 略称EIR)で、自動化コンテナターミナルが完成したのちの2038年の取扱能力を、ターミナル面積243acreで2,389,000 TEU(9,831 TEU/acre)と設定している。TraPacにおける自動化導入前の2003年の実績は、ターミナル面積176acreで891,976 TEU(5,068 TEU/acre)で

あるから、TraPac は自動荷役設備の導入により処理能力が単位面積当たり約 2 倍に増強すると予想していることになる。5,068 TEU/acre は、日本の感覚に換算すると、2003 年の年間取扱量約 25 万 TEU/バース (1 バースを岸壁長 400m × 奥行 500m と仮定。1 ac ≒ 0.4 ha なので、50 倍すれば換算できる) が、2038 年に約 50 万 TEU に増加することと同等である。まとめれば、「TraPac は EIR の中で、自動荷役設備により 2038 年に『10,000 TEU/acre』、つまり『年間取扱量 50 万 TEU/バース』に増えると予想し、この量を取り扱うためには自動荷役設備の導入を必要としている」といえる。

一方、TraPac の EIR は、2038 年を予想すると同時に、EIR の評価の中間年となる 2015 年の予想も記載している。TraPac の予想では、2015 年のコンテナの年間取扱量が 233acre のターミナル面積で 1,747,500 TEU に達するとしていたが、2015 年の実績は 827,900 TEU と低迷し、想定取扱量のはほぼ半分に過ぎない。7,500 TEU/acre と予想していたが、実績は 3,553 TEU/acre であったことになる。1 バース (岸壁長 400m × 奥行 500m) に換算すると、年間 37,500 TEU/バースの予想に対し、177,660 TEU/バースの実績である。

実績が予想よりも低迷していても、利益率の改善で述べたように、TraPac、Patrick、London Gateway の 3 ターミナルはすでに平均で 125% の利益向上を達成している。TraPac 社長 Frank Pisano 氏が、自動化に関し、「生産性の観点から導入を見送る理由はない。」と述べている背景には、人件費が高い米国特有の状況がターミナル経営の採算ラインを下げていることがある。

では、人件費が米国ほど高くはない韓国においてはどうかであろうか？ 釜山新港の事例を見てみよう。

釜山新港で自動荷役設備を導入した BNCT および PNC でヒアリング調査を行った際に、BNCT 代表理事である崔英培氏および PNC の孫炯根氏は、「自動化コンテナターミナルは 50 万 TEU/バースに達すると新たなバースが必要だ。」と述べ、年間 50 万 TEU の数字は自動化コンテナターミナルの経営上、重要な指標となっている。

さらに、両氏は、ともに「自動化コンテナターミナルは 50 万 TEU/バースで単年度黒字に転換した。」と述べていることから、釜山新港における自動化コンテナターミナルの採算ラインは 1 バース当たり年間 50 万 TEU と推定できる。

このように、釜山新港では、自動化コンテナターミナルの取扱量が年間 50 万 TEU を上回れば採算ラインを超え、ターミナル経営は黒字になる。いかえれば、釜山新港では

1 バースの取扱量が年間 50 万 TEU を上回るとは、新規の自動化コンテナターミナルの設備投資を行う経営判断の指標となっているといえる。

韓国と米国では、自動化コンテナターミナルの投資環境や人件費などの社会経済環境が異なるため、採算ラインは異なるが、韓国の自動化コンテナターミナルの経営は米国に比べ、いわゆる「薄利多売」ビジネスということが推察できよう。

(4) 自動化コンテナターミナルの取扱能力 (目安としてコンテナブロックライン当たり年間 10 万 TEU)

自動化コンテナターミナルの取扱能力を検証しよう。

厳密には、コンテナターミナルごとに諸条件を設定してシミュレーションする必要があるが、既設の自動化コンテナターミナルから容易に推定できる。

自動化コンテナターミナルで取り扱われるコンテナは必ずコンテナブロックを通過するため、「コンテナブロックの取扱量を調べればほぼ能力と同等と考えてよい」と仮定し、取扱能力とコンテナブロックライン数を整理すると表-3.5 になる。対象とした自動化コンテナターミナルは、2015 年～2017 年にオープンした最新のターミナルである (写真-3.4)。取扱能力は各コンテナターミナルが公表している数値である。

この表を見ると、1 つのコンテナブロックライン当たりの平均取扱能力は 9.7 万 TEU と計算される。このように、最近オープンした自動化コンテナターミナルの事例から、自動化コンテナターミナルの取扱能力を推定すると、1 つのコンテナブロックラインの取扱能力は年間約 10 万 TEU となる。

なお、海側荷役 (岸壁荷役) の STS の機数や岸壁延長に基づく数値は、コンテナブロックラインに基づく数値よりもブレ幅が大きい。原因は、船型の大小による荷役の休止の発生や、岸壁の場所によって荷役の使用頻度の相違があるためと考えられる。

(5) 労働災害の激減、人材確保

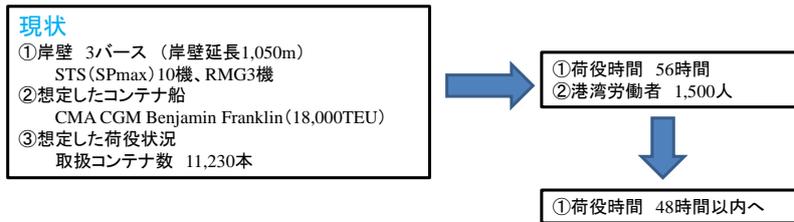
既述のように、自動化コンテナターミナルでは在来荷役に比べ労働災害事故がへり、経営に与える影響が小さくなった。また、オフィス労働の増加に呼応して女性オペレータの採用が増えるなど、雇用機会の増大に貢献している。



写真-3.3 MOL Triumph (長さ 400m, 幅 58.8m, 積載コンテナ数 20,170TEU)
(出典: Port of Rotterdam)

- ✓大型コンテナ船(20,000TEU)の荷役時間を48時間以内に
- ✓365日24時間オープン, 同一料金

事例 Le Havre港 Terminal de France



船社の要請にこたえるためには、
揚げ積みで50万TEU/バースの能力が必要

図-3.5 事例 Le Havre 港と Terminal de France
(出典: Quintiq の公表資料を筆者が整理した.)

表-3.4 自動荷役の導入による収益構造の変化 (出典: Kalmar)

	Indexed P&I Manual Terminal	Indexed P&I When converted into an automated operation	
Revenue	100		
Labor costs	40	60% loss labour costs	16
Maintenance	8	20% less maintenance	6.5
Power & fuel	4	25% less power & fuel	3
IT	2	50% higher IT	3
Depreciation	10	30% higher depreciation	13
Other costs (land, overhead)	18	Assuming same overhead	18
Total costs	82	27% less costs	59.5
Profit	18	125% profit increase	40.5

有人運転：一人のドライバーが運転. 待ち時間は非生産的
 遠隔操作：待ち時間の大幅な減少
 一人のオペレータが扱う機数 1.33機～15機

<在来型コンテナターミナルのヤード内の稼働時間>

- ①Gantrying 15%
 - ②Stacking 40%
 - ③Truck Handling 20%
 - ④Idling 25%
- **アイドリング時間を削減(25%の効率性向上)**

(出典: Konecranes資料、サンプル数89、2015年データ)

図-3.6 RTGによる生産性比較 (出典: Konecranes)

表-3.5 自動化コンテナターミナルの取扱能力 (出典: 筆者の調査)

供用年	港湾	ターミナル	STS数	岸壁延長	取扱能力	コンテナブロックライン数	ライン当たりの取扱能力	STS当たり取扱量	岸壁延長当たり取扱量
2015年	Rotterdam	World Gateway (RWG)	11	1,150m	235万TEU	24	9.8万TEU	21.4万TEU	0.20万TEU
2015年	Rotterdam	APMT	8	1,000m	270万TEU	27	10.0万TEU	33.8万TEU	0.27万TEU
2017年	Lázaro Cárdenas	Lázaro Cárdenas	7	750m	120万TEU	11	10.9万TEU	17.1万TEU	0.16万TEU
2017年	青島	QQTCN	13	1,320m	300万TEU	38	7.9万TEU	23.0万TEU	0.23万TEU
2017年	上海	第4期	26	2,350m	600万TEU	58	10.3万TEU	23.1万TEU	0.26万TEU
	合計		65	6,570m	1,525万TEU	158	9.7万TEU	23.5万TEU	0.23万TEU

(

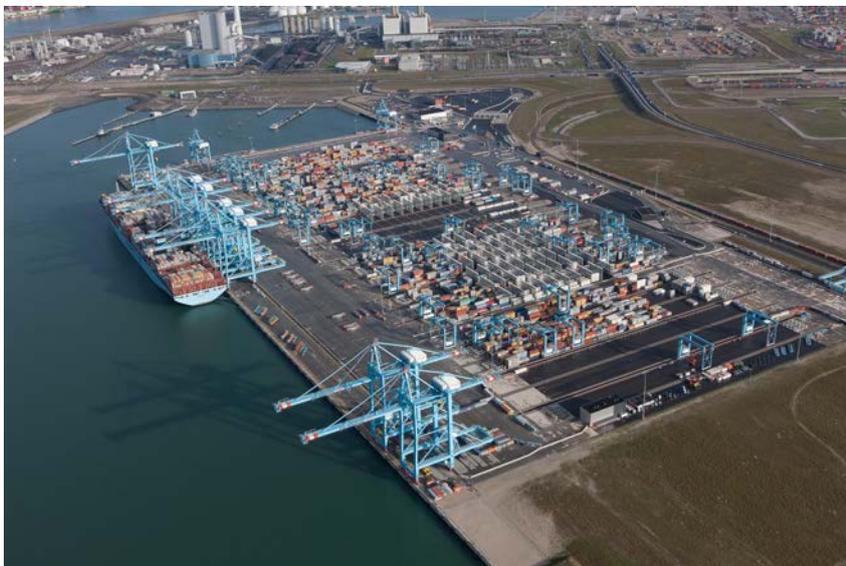


写真-3.4 ロッテルダム港 Maasvlakte II APMターミナル (出典: APMT)

3.5 自動化技術のデファクトスタンダード化 つぎに、表-3.1 を技術の観点から見てみよう。

(1) 技術の組み合わせのパターンと世界分布

自動化コンテナターミナルを自動荷役設備の基本機能の組み合わせによってパターン化すると、表-3.6 になる。また、自動荷役設備の組み合わせパターン別に整理すると、世界の自動化コンテナターミナルの分布は図-3.7 に、さらに、自動化コンテナターミナルの稼働時期によって世界シェアを整理すると図-3.8 になる。

まず、表-3.6 を見てみよう。世界の自動化コンテナターミナルは、自動荷役設備の組み合わせで構成されており、水平輸送システムとヤードスタッキングシステムの自動荷役方式によりパターン化できる。

なお、ARMG はサプライヤーによって呼称を変えている。本報告では ASC として整理し、ASC または ASC (ARMG) と表記する。

パターン化すると、下記のことがいえる。

- ① 自動化されている ASC (ARMG) には、自動化されている AGV, A-ShC, ならびに、有人運転の M-ShC, シャーシ (Chassis) との組み合わせが可能である。ASC (ARMG) は、組み合わせ上の柔軟性が高い。
- ② ASC (ARMG) のうち、AGV, A-ShC, M-ShC との組み合わせは End-Loading タイプであるが、シャーシとの組み合わせは Side-Loading タイプである。
- ③ ARTG との組み合わせは、自動化されている AGV と有人運転のシャーシである。
- ④ AutoStrad (Kalmar 製品名) は、A-ShC と ASC の機能を兼ねるため単独使用が可能である。

このようなパターンで、世界の自動化コンテナターミナルの普及状況を整理し、パターンをターミナルオペレーターごとに示すと図-3.7 になる。

この図を見比べると、下記のことがいえよう。

- ① ターミナルオペレーターが最も採用している荷役設備の組み合わせパターンは、AGV/ASC (ARMG), M-ShC/ASC (ARMG), Chassis/ASC (ARMG) の 3 パターンである。
- ② ASC (ARMG) と組み合わせ可能な水平輸送システムは、自動荷役設備 (AGV, A-ShC) および有人操作 (M-ShC, シャーシ) であり、柔軟性が高い。
- ③ AGV/ARTG または Chassis/ARTG を採用したターミナルは、世界で 4 ターミナルオペレーターである。

- ④ AutoStrad (Kalmar の商品名) を採用しているターミナルオペレーターはオーストラリアの 2 ターミナルオペレーターである。
- ⑤ AutoStrad (Kalmar の商品名) は A-ShC の機能を持つことから、A-ShC に分類すると、世界で 4 番目に多く採用されているパターンである。
- ⑥ OHBC を採用しているターミナルオペレーターはシンガポールの 1 ターミナルオペレーターである。

(2) 稼働時期による技術の組み合わせの変化

図-3.8 は、ターミナルオペレーターが自動荷役設備を採用し稼働した時期により整理した結果である。図で示している期間は、世界で最初に稼働した 1993 年から将来までの期間のみならず、黎明期、先行利得期、普及期、新たな展開期に区分している。なお、黎明期の自動化コンテナターミナルの中には、自動荷役設備のどのような組み合わせだったか不明なものや、将来に計画されている自動化コンテナターミナルの中には未定なものもある。このため、整理にあたっては、不明や未定の自動化コンテナターミナルを除外している。また、Automated TT は機能上、AGV と類似していることから AGV として整理している。

まず、全体を俯瞰してみると、ターミナルオペレーターが採用した自動荷役設備の組み合わせは、初の自動化コンテナターミナルが稼働した 1993 年から将来予定されている時期まで含めて分類すると、AGV/ASC, M-ShC/ASC, Chassis/ASC が各々 4 分の 1 占めている。A-ShC/ASC は 1 割弱である。水平輸送に関して、在来荷役と自動荷役とを比較すると、在来荷役が 3 分の 2、自動荷役は 3 分の 1 で、在来荷役が多い。スタッキングエリアの自動荷役設備では ASC が 8 割以上を占める。

以下に、年代ごとに見てみよう。

黎明期 (1993 年～2004 年) は、稼働した自動化コンテナターミナルの数がすくないが、OHBC を利用したパターンがある。

先行利得期 (2005 年～2009 年) は、稼働した自動化コンテナターミナル数が増え、Chassis/ASC が約半分のシェアを占める。水平輸送を自動化 (AGV, AutoStrad) と在来荷役 (有人) (M-ShC, Chassis) でくくると、自動化のシェアは 3 分の 1 で、在来荷役は 3 分の 2 を占める。ASC (ARMG) と ARTG で比較すると、ARTG のシェアは 1 割ほどしかない。

普及期 (2010 年～2014 年) に入ると、M-ShC/ASC の

シェアが増加するとともに、A-ShC が利用され始めている。Chassis/ASC のシェアが減少していることから、Chassis が M-ShC または A-ShC に置き換わっている。スタッキングエリアの自動化は 9 割が ASC で、残りが AutoStrad である。ARTG の実績はない。

このころになると、信頼性に関して、「コンテナヤード内の自動荷役技術は、すでに技術的に安定しており、実用化段階に入っている。生産性の観点から導入を見送る理由はない。」(TraPac 社長 Frank Pisano 氏) という認識が広まった。

新たな展開期 (2015 年～将来予定) に入ると、M-ShC/ASC が減少し、Chassis/ARTG が増加している。ARTG の増加は、Konecranes がインドネシアで ARTG による自動化コンテナターミナルを 2 契約したことが貢献している。一方、普及期に比べて Chassis のシェアの増加は、インドネシアの契約以外にもメキシコの契約の貢献が大きい。この時期の特徴は、水平輸送について自動化と在来荷役のくくりでみると、自動化のシェアが 2 分の 1 近くに増加していることと、スタッキングエリアの自動化は ASC と ARTG で占められていることである。

今後、労働環境の改善や労働安全性の確保を図る目的で、水平輸送の自動化が進むと予想されるため、AGV と A-ShC のシェアは増えていくものと予想される。

(3) Lift-On Lift-Off AGV (L-AGV) の誕生と A-ShC

AGV のシェアについてみてみよう。

AGV のシェアは、稼働コンテナターミナル数が少ない黎明期を除くと、先行利得期、普及期、新たな展開期と、10 分の 1 からほぼ 4 分の 1 へ増加している。しかし、AGV の機能に着目すると、2015 年に Lift-On Lift-Off AGV (L-AGV) がロッテルダム港の World Gateway Terminal と Msssvlakte II Terminal に導入されるようになると、AGV の評価が高くなった。従来の AGV はコンテナの受け渡し機能がなかったため、ASC によってコンテナを揚げ積みしてもらいのを待たざるを得ず、この待ち時間が無駄となっていた。AVG の荷役効率を向上させる対策として、多くの AGV を投入せざるを得ず、A-ShC よりも荷役効率が悪かった。しかし、L-AGV が導入されると、この待ち時間の問題が解消され、A-ShC と荷役効率で肩を並べることになった。

この後、L-AGV を導入したのは中国の QQCTN Terminal と洋山深水第 4 期ターミナルである。

なお、米国では、翌年の 2016 年に LBCT Terminal で自

動化コンテナターミナルがオープンしたが、導入された AGV は従来型であった。

L-AGV と A-ShC とを比較すると、A-ShC が安定性と走行速度で能力が高いと評価されている。サプライヤーは、L-AGV が ZPMC, Gottwald・Terex (Konecranes), Kalmar, VDL, Kalmar, Gaussin Manugistique というように複数社存在することに対し、A-ShC は Kalmar1 社が優位である。サプライヤーの数が、ターミナルオペレータの最終的な選択に影響しているといえよう。

(4) STS 荷役 (岸壁荷役) の自動化

つぎに、STS 荷役の自動化についてみてみよう。STS 荷役に自動荷役を導入している自動化コンテナターミナルは少なく、ロッテルダム港の World Gateway Terminal と Msssvlakte II Terminal, ジュベラル港の T3 Terminal で遠隔操作による自動荷役が導入されている程度である。後述するように、ZPMC は STS 荷役に遠隔操作を導入する技術で海外展開を進めている。

これらのターミナルの実績や STS 荷役の技術開発により、自動化は進むと予想される。

(5) 自動荷役技術の将来動向

上記に示したように、自動荷役設備は、ASC (ARMG), ARTG, AGV, A-ShC に集約されつつある。今後、自動荷役設備の技術開発および生産台数はどのように予想すればよいだろうか？

自動荷役および在来荷役を含めたデータであるが、Avery (2015) を引用する形で、筆者の調査結果を含めて紹介しよう。

① RMG, RTG

RMG は 2003 年においては、わずか 37 機生産されただけだが、RTG は 421 機も多く生産されている。RTG の生産は、2006 年に最盛期を迎え、15 社のサプライヤーにより 950 機以上にのぼった。2014 年は約 550 機が納入されている。

Konecranes が ARTG (自動化 RTG) を使用した自動化コンテナターミナルをインドネシアで 2016 年に供用し、さらに 2018 年供用に向けて工事中である。従来、ARTG は、ASC (ARMG) の車輪・レールによる制御に比べて、タイヤ走行のため高精度の制御が難しいとされていた。Konecranes は、高精度な制御を技術的にクリアしたことにより、20,000TEU の大型コンテナ船の高速荷役の要請に応える ARTG の需要は旺盛で、大型・高速化が可能としている。

②ASC

ASC は、2014 年から 2015 年に、430 機が 19 のコンテナターミナルへ納入されている。ASC のサプライヤーは、Kalmar, ZPMC, Konecranes, MHIMT, Künz などである。2016 年以降で、需要は 100 機以上見込まれている。今後は、20,000TEU の大型コンテナ船の高速荷役の要請に応え、ASC の需要はさらに増える模様である。また、ARTG と同様に、大型・高速化するだろう。

③AGV

AGV は、世界で初めて Gottwald (現在は Terex Port Solutions) が生産して以来、2015 年までに 723 台生産した。AGV の生産へ参入したサプライヤーは多く、豊田自動織機が 33 台、VDL が 87 台、ZPMC が 203 台生産済み、または生産中である。さらに、Gaussin Manugistique がシンガポール向けに納入契約を交わしている。

AGV の特徴は、1 つのコンテナターミナルへ複数のサ

プライヤーの AGV を投入し、運用できるため、複数のアプライヤーが参入しやすいことである。

PSA が、現在、整備中の Tuas の自動化コンテナターミナルは、1,000 台以上の AGV を納入する大規模市場となる。AGV の複数を同時に運用可能な技術を生かすため、PSA は、Tuas の運用に備えて、各サプライヤーの製品を統合して一体的に運用できるソフトウェアを開発中である。

④STS

ZPMC が、世界で 7 割以上の圧倒的なシェアを持つ。ZPMC が遠隔操作可能な STS を生産し、海外展開を始めたことは、今後、新規 STS については遠隔操作が主流になる方向へ向かう可能性が高い。さらに、STS の遠隔操作については、新規 STS のみならず、既存の STS に遠隔操作機能を付ける改良需要が発生すると予想される。

表-3.6 自動化コンテナターミナルにおける自動荷役設備の組み合わせパターン

(写真の出典：Navis, Kalmar, 三井造船)

(注 1) ASC (Automatic Stacking Crane) と ARMG (Automated Rail Mounted Gantry Crane) は サプライヤーによって呼称を変えているが、同様の機能を持つため、同じ扱いにした。

(注 2) 各色印は、図-3.7 に対応している。

パターン	自動荷役設備または有人荷役設備のイメージ
● AGV / ASC (ARMG)	 ASC(ARMG)は End Loading タイプ。
● A-ShC / ASC (ARMG)	 Aは Automated の略。 A-ShCに Automated Straddle Carrier, AutoShuttle (Kalmar製品名)を含む。 ASC(ARMG)は End Loading 型。
● M-ShC / ASC (ARMG)	 Mは Manual, ShCは Shuttle Carrierの略。 M-ShCに, Manual Straddle Carrier を含む。 ASC(ARMG)は End Loading タイプ。
● Chassis / ASC (ARMG)	 ASC(ARMG)は Side Loading 型。
● AGV / ARTG ● Chassis / ARTG	
● AutoStrad	 (注) AutoStrad は, Kalmarの製品名。
● Chassis / OHBC	

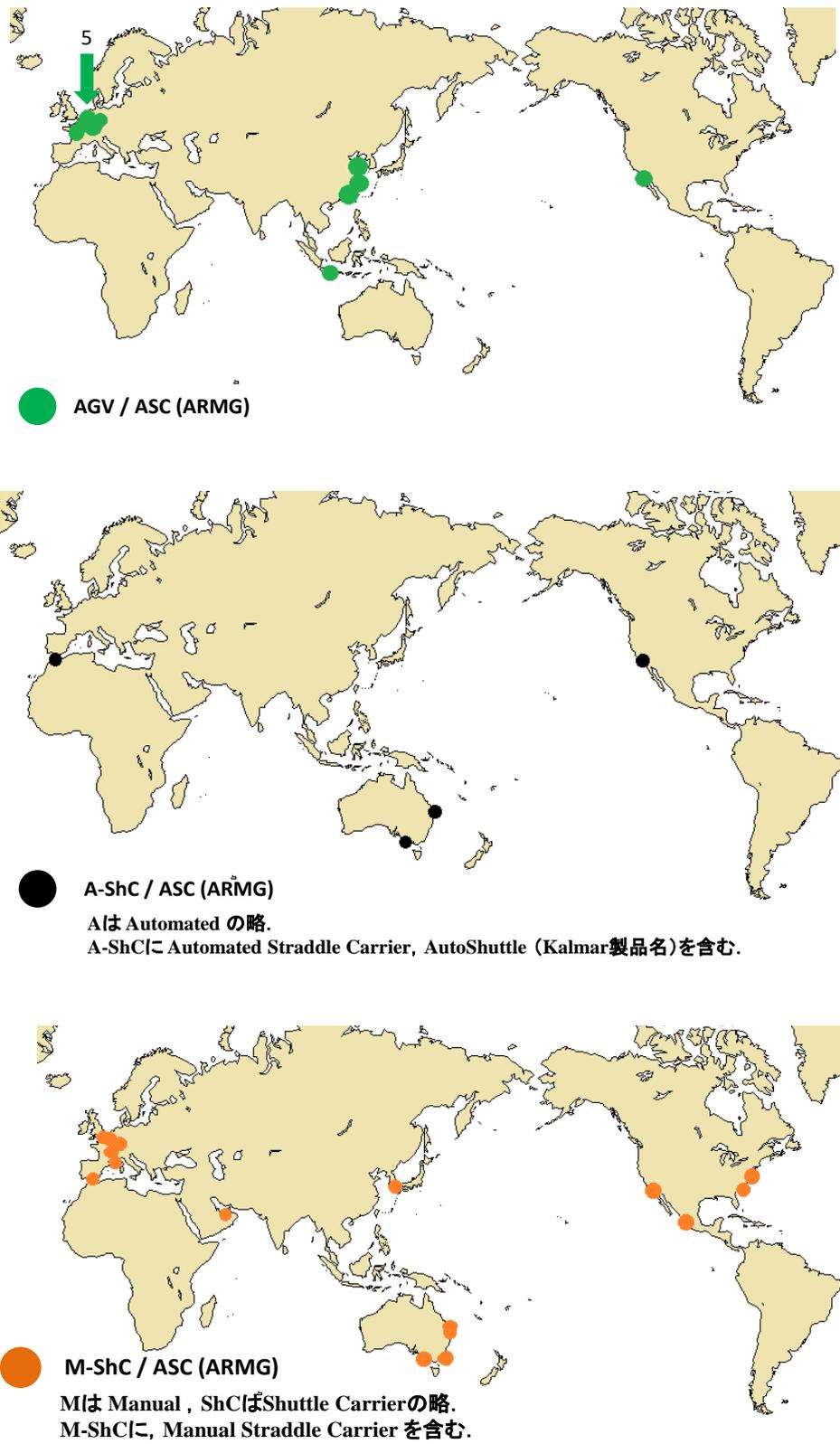


図-3.7 自動荷役設備の組み合わせパターンによる自動化コンテナターミナルの世界分布

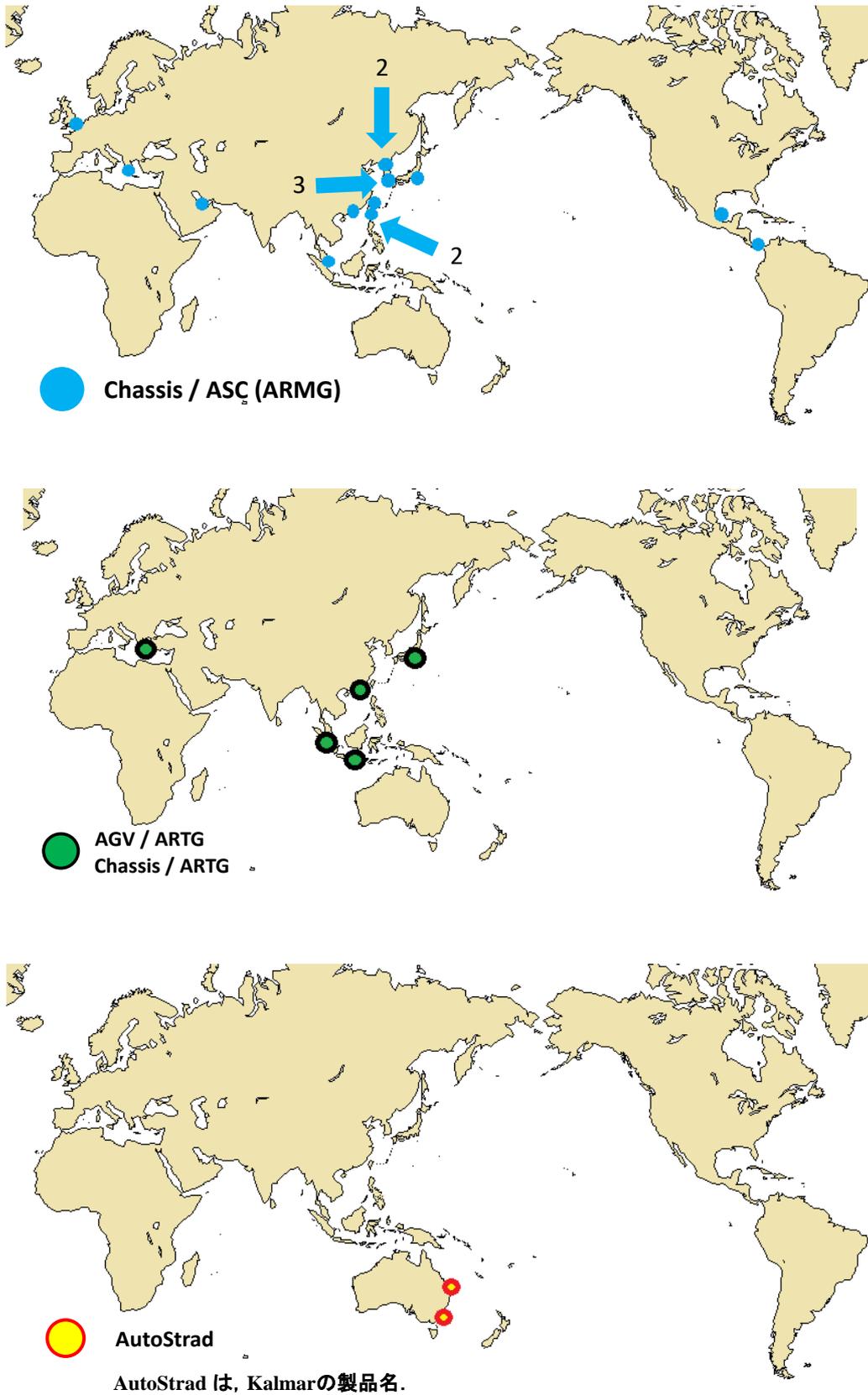


図-3.7 (続き) 自動荷役設備の組み合わせパターンによる自動化コンテナターミナルの世界分布

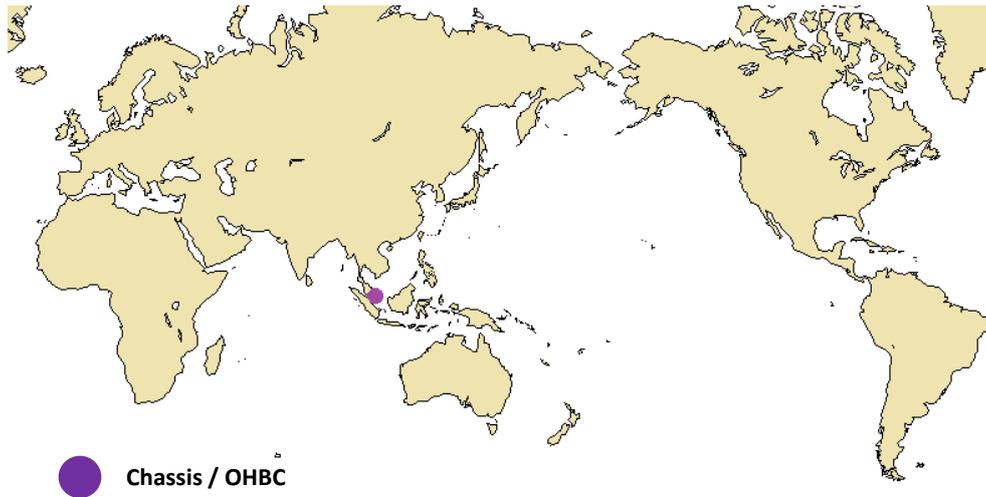
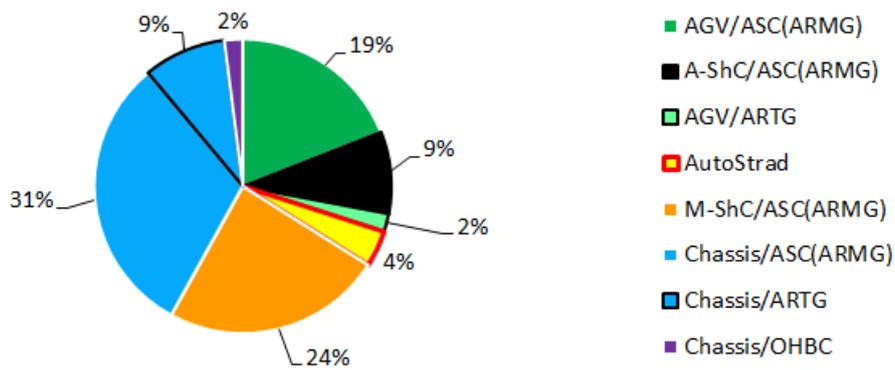


図-3.7 (続き) 自動荷役設備の組み合わせパターンによる自動化コンテナターミナルの世界分布

1993年～将来予定



黎明期 1993年～2004年

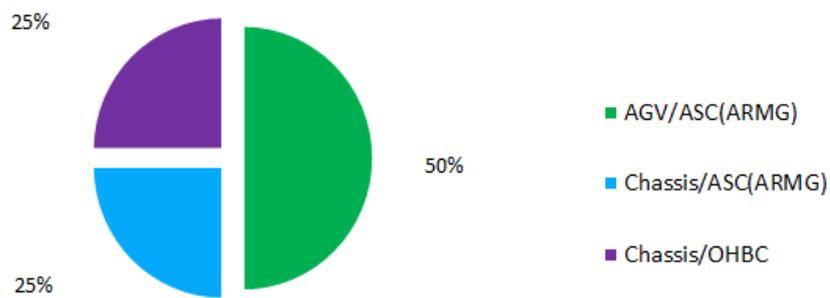
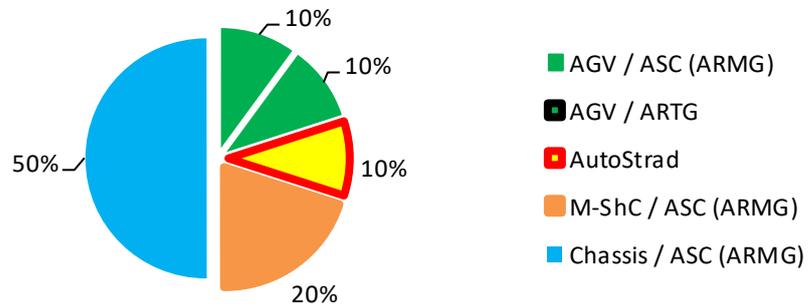
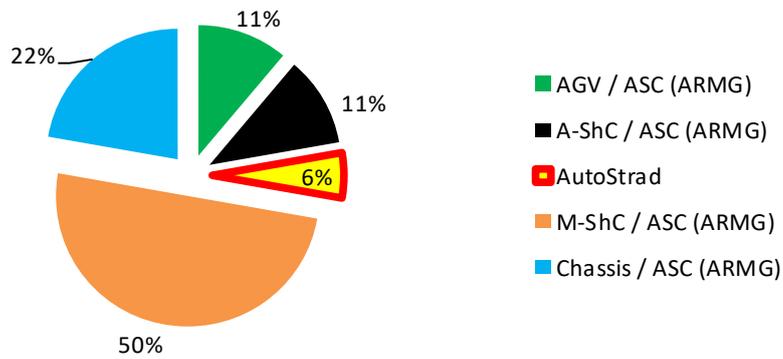


図-3.8 自動荷役設備の組み合わせパターンによる世界シェア
(注：パターンの明確となっている54の自動化コンテナターミナルを対象とした.)

先行利得期 2005年～2009年



普及期 2010年～2014年



新たな展開期 2015年～将来予定

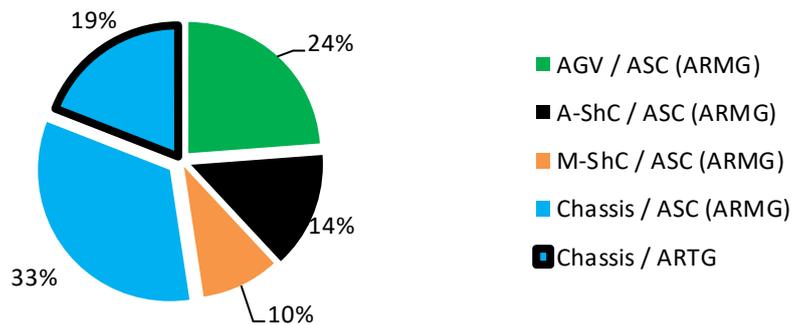


図-3.8 (続き) 自動荷役設備の組み合わせパターンによる世界シェア
(注: パターンの明確となっている54の自動化コンテナターミナルを対象とした.)

表-3.7 は、ZPMC が納入した STS のデータに基づいて、自動化コンテナターミナルの技術開発レベルを示した表である。技術開発レベルは、岸壁側の STS 荷役を除けば、基本的な技術は確立している。AGV、A-ShC などの自動荷役設備の技術開発は、基本的な性能の向上に加え、電動化による省エネやゼロエミッションの追求のための技術開発に移行している。また、陸側荷役の技術開発については、自動車の自動運転と連続することが課題となっている。自動車メーカーとの共同研究が進むものと予想される。

海側の STS 荷役の自動化に向けた技術開発は、コンテナ船の自動係留の技術開発と一体とともに、重要な技術開発課題である。

表-3.8 は、ZPMC が納入した STS のデータに基づいて、自動荷役設備の組み合わせによる技術成熟度の比較を示した表である。自動荷役設備の組み合わせで、最も効率が良いのは STS 荷役が有人操作で他の荷役設備を自動化する組み合わせである。STS の遠隔操作を組み入れた組み合わせの効率が低いのは、いまだ STS の遠隔操作や自動化は技術的な課題が残っていることも影響している。また、有人 STS および有人シャーシの組み合わせは、操作する者の能力差が効率を左右する傾向にある。したがって、自動荷役設備の組み合わせパターンのうち、中欄の「STS 有人、他は自動化」が主流であり、技術の信頼性は高く安定している。STS は遠隔操作技術を取り入れて稼働を始めているが、完全自動までは、動揺する船舶内でコンテナのラッシングの固縛解放などをどのように自動で行うのか等の技術的課題をクリアしなければならない。今後の技術開発によりこれらの課題が解消すれば最も効率よく、かつ、安定した効率を発揮できると期待できる。

ZPMC の動向については、後述する。

なお、日系企業が開発した技術は、シンガポール（三井造船）の OHBC（Over Head Bridge Crane）と名古屋港（豊田自動織機、三菱重工業）がある。しかし、世界には普及していないパターンである。技術の詳細は、市村(2014)、豊田自動織機(2014)、一ノ瀬（2010）を参照されたい。

これまでの自動化コンテナターミナルの実績をまとめると、スタッキングエリアと水平輸送の自動荷役設備は下記の 3 パターンに集約している。

なお、Endo-Loading ASC はコンテナブロックの長手方向の両端でコンテナの受け渡しを行うタイプであり、Side-Loading ASC はコンテナブロックの両脇でコンテナの受け渡しを行うタイプである。

- ① End-Loading ASC と AGV
- ② End-Loading ASC と ShC（Shuttle Carrier, Straddle Carrier）
- ③ Side-Loading ASC と Chassis

したがって、現在は、STS 荷役を除けば、自動化技術レベルは確立し、実質的に標準化している（デファクトスタンダード）と言えよう。

3.6 今後、世界で約 100 港まで普及するポテンシャル

筆者は、高橋ら（2013）により、世界にはコンテナターミナルが立地する港湾が 125 か国に 443 港あること、類型をみると、港湾所在地の経済のみならず、他の港湾所在地の港湾と相互にコンテナ物流で影響を与える関係にある港湾は 107 港であることを指摘した。わが国の場合は、京浜港、伊勢湾港、阪神港、北部九州の 4 港である（表-3.9）。

これらの 107 港は、各港のコンテナ取扱量が少なくとも 100 万 TEU 以上あり、経済活動や人口密度の観点から今後も取扱量が増えるポテンシャルを持っている。筆者の予想した港湾以外にも自動荷役設備を導入できるポテンシャルを持つ港湾の存在は否定できないが、少なくとも 107 港で自動荷役設備が導入できるポテンシャルがあるといえる。

一方、世界的な荷役機械サプライヤー Kalmar の上級副社長（Senior Vice President）である Antti Kaunonen 氏は、「自動化ターミナルは、現在 40～50 ターミナル供用中であり、2020 年までに約 120 ターミナルまで普及すると予想している。120 ターミナルの内訳は、新規、改良、拡張とともに、各々 3 分の 1 である。」と述べており、筆者の予想と一致している。

（注：Kalmar の予想している数はターミナルオペレータ数である。ひとつの港湾内に複数のターミナルオペレータが存在する場合もある。一方、筆者は港湾の数を予想している。）

現在までに、供用中の自動化コンテナターミナルは筆者および Kalmar の予想通りであることから、今後は少なくとも世界において約 50 港のコンテナターミナルで自動荷役設備が導入され、約 100 港まで普及するポテンシャルがあるといえるだろう。

表-3.7 自動化コンテナターミナルの技術開発レベル
(出典：ZPMC の資料を筆者が加筆)

	岸壁側	水平輸送	スタッキングヤード	陸側
荷役設備	STS(QC)	AGV SC (Straddle Carrier) AutoStrad AutoShuttle シャーシ	ASC (Automated Stacking Crane) AutoStrad	ASC (Automated Stacking Crane) AutoStrad
技術レベル (現状)	有人運転 遠隔操作	自動運転 有人運転(シャーシ)	自動運転 遠隔操作	自動運転 遠隔操作
技術開発 (目標)	完全自動	技術は確立 省エネ ゼロエミッション	技術は確立 リーファー電源 省エネ ゼロエミッション	技術は確立 安全性の確立
技術開発 (サプライチェーン)	船舶の自動係留との連携	—	—	自動運転自動車の受け入れ

表-3.8 自動荷役設備の組み合わせによる技術成熟度の比較
(出典：ZPMC の資料を筆者が加筆)

	STS + AGV + ASC	STS + AGV + ASC STS + A-ShC + ASC	STS + Chassis + ASC
自動化のレベル	STS 遠隔操作 AGV, ASC 自動	STS 有人 AGV, A-ShC, ASC 自動	STS, Chassis 有人 ASC 遠隔操作
特徴	稼働率 一定 初期投資 高 稼働費 低 安全性 高	稼働率 高 初期投資 中 稼働費 中 安全性 低	稼働率 高 初期投資 低 稼働費 高 安全性 低
初期投資	高	中	低
効率 move/h	30~32	32~34	30~32
技術的成熟度	開発~ほぼ安定	安定	安定

表-3.9 自動荷役の導入のポテンシャルを持つ港湾
(出典：高橋・浦辺・福田 (2013))

類 型		代表的な港湾	港数	
大陸拠点型			75	
	広域低密度型	LA/ LB, NYNJ, Virginia, Melbourne, 上海, 深圳香港, etc.	56	
	広域高密度型	Rotterdam, Hamburg, Le Havre, Felixstowe, Southampton, etc.	15	
	狭隘超高密度型	京浜、阪神、伊勢湾、関門博多	4	
海洋拠点型	障害地形型	狭隘地形型	Singapore, Dubai, Tanger, Balboa, Port Said, etc.	12
		突出地形型	Gioia Tauro, Salalah, Jeddah, Algeciras, Port Elizabeth, etc.	10
	遠隔離島型	Marsaxlokk, Freeport, Las Palmas, King Stone, etc.	9	
大陸・海洋拠点型		釜山	1	
港湾所在地の経済依存型			336	

3.7 導入のためのデファクトステップ

自動荷役設備の組み合わせがデファクトスタンダードに合わせ、自動荷役設備の導入ステップもスタンダード化している。2010年以降にオープンした自動化コンテナターミナルに自動荷役設備を導入したステップには、以下の共通点がみられる。

ただし、デファクトステップの対象は、水平輸送とスタッキングエリアである。海側荷役（岸壁荷役）の自動化については技術的な信頼性が確立されていないため、デファクト化されていない。陸側のゲート管理等に関しては、有人トレーラーが前提であることからデファクトステップの対象から除外している。

なお、荷役機械サプライヤーKalmarは、独自にデファクトステップによる自動化を推奨している。筆者は、Kalmarの推薦内容を検証するため、国際会議等の場で、自動荷役設備の導入実績のあるターミナルオペレータに対し、Kalmarの推奨内容を確認し、加筆修正した。

(1) 新規ターミナル（Green Terminal）の場合

①自動荷役設備の組み合わせ

水平輸送を自動化する場合、「ASC+AGV」、または、「ASC+A-ShC」の組み合わせが定着している。ASCはいずれもEnd-Loadingタイプであり、水平輸送はAGVまたはA-ShCで自動化する組み合わせである。

自動荷役の技術レベルは、水平輸送とスタッキングエリアとの間のコンテナの受け渡しは完全自動化が可能である。スタッキングエリアと外部トレーラーとの間のコンテナの受け渡しは、外部トレーラーが有人運転であることからドライバーの安全のため、ドライバーによる安全確認が必須である。完全自動化も可能であるが、安全性の確保のため遠隔操作が基本である。

水平輸送を在来荷役の有人運転型であるM-ShCで行うケースもあるが、AGVおよびA-ShCの自動荷役技術の信頼性が高いことから、在来荷役、または自動化の選択は、ターミナルの状況に応じて決められている。さらに、M-ShCを採用したとしても、将来的に、M-ShCをA-ShCに切り替えることは可能で、この場合は、既設コンテナターミナル（Brown Terminal）と同様の導入ステップをたどればよい。

②自動化コンテナターミナルのレイアウト

自動化コンテナターミナルを新規にデザインできるため、稼働初期から最新鋭の技術の導入と、自動荷役設備の能力を最大限に発揮できるレイアウトの採用が可能である。

レイアウトに制約がない場合、パーティカルタイプとパラレルタイプの能力を比較すると、自動荷役設備のサプライヤーおよびシミュレーション会社によれば、一般的にパーティカルタイプの能力が高いとのことであるが、能力差は僅差であり、自動荷役設備の個々の性能や設定条件により異なる結果がでるため、各社は、「レイアウトの決定にあたってシミュレーションにより検証が必要である」、という共通認識を持っている。

ただし、各社の共通した意見として、自動荷役設備の能力を最大限発揮するためには、コンテナブロック長のスペースと外部トレーラーの走行スペースを合わせると、奥行きは500m超必要となると主張している。

一方、レイアウトで奥行きの制約がある場合は、パラレルタイプが採用されている。

NYNJ港のGlobal Terminalのように、斜め（Slanting）タイプもあるが、奥行きの制約があるターミナルでパーティカルと同様の能力を期待してデザインされた。Global Terminalの建設のプロジェクトマネージャーを務めたVirginia International Gateway（VIG）のRich Ceci氏を、筆者が2016年10月に訪問した際に、Global Terminalが斜めタイプを採用した目的を質問したところ、「斜めのタイプは、コンテナブロック長を確保し、コンテナブロックのライン数を、パラレルタイプよりも増やすのが目的だ。」と述べている。Global Terminalのレイアウトは、奥行きが250mに対し、コンテナブロック長340mのコンテナブロックラインを10ライン設置するデザインとなっている。

(2) 既存コンテナターミナル（Brown Terminal）を改良する場合

在来荷役の一部でも自動化（遠隔操作、完全自動など）を導入することにより、効果を期待できる。

①自動化の対象

既存コンテナターミナルを自動化する場合、ターミナルオペレータは以下のステップで対象を選択すべきとしている。

- Step1：スタッキングエリア（ブロック）の自動化
- Step2：水平輸送の自動化

②スタッキングエリア（ブロック）の自動化

スタッキングエリア（ブロック）の在来荷役方式は、一般に有人運転のRMGまたはRTGが採用されている。有人運転のRMGおよびRTGをASC(ARMG)またはARTGへ改良することにより自動化を実現することが可能である。さらに、導入のための工事はコンテナブロックのエリ

アに限定することが可能であることから、コンテナターミナルを最小限の休止で改良工事が可能であり、経営上への影響が少ない。コンテナブロックごとに、自動荷役の自動化レベル（遠隔操作、完全自動など）に応じて自動荷役設備を導入可能である。

ただし、Side-Loading タイプの ASC または ARTG の場合、水平輸送は有人 Chassis であるとともに外部トレーラーがスタッキングエリア内に混入するため、人の操作を介さない完全自動は導入できない。同様に、End-Loading タイプの ASC または ARTG であっても、水平輸送が有人 Chassis または M-ShC の場合、これらがスタッキングエリア内に混入するため、人の操作を介さない完全自動は導入できない。Side-Loading タイプまたは End-Loading タイプにかかわらず、在来荷役（有人）が混入する場合は、ドライバーの安全性の確保のため、ASC および ARTG は遠隔操作が原則である。

③水平輸送の自動化

在来荷役方式では、有人運転のシャーシまたは M-ShC が使用されている。水平輸送の自動化は、AGV または A-ShC の誘導のためのセンサー類をコンテナヤード内に埋め込む工事が発生するため、コンテナヤードや岸壁の使用を休止せざるを得ない。一般に、スタッキングエリア（ブロック）の自動化よりも大規模な工事を伴う。

AGV と A-ShC を比較した場合、従来、A-ShC は効率が良いとされていたが、L-AGV (Lift-On Lift-Off AGV) が開発され、差異が小さくなった。ただし、有人運転の M-ShC を採用している場合は、センサー等の自動荷役装置を取り付けて A-ShC へ改良することにより対応できるため、A-ShC の調達コストを下げるができるメリットがある。

End-Loading タイプの ASC または ARTG の場合、水平輸送とスタッキングエリアとの間のコンテナの受け渡しが無くなるため、完全自動化が可能である。

ただし、水平輸送を自動化する場合は、Side-Loading タイプの ASC または ARTG の場合、自動荷役の AGV や A-ShC と外部トレーラーが混在するため、有人の外部トレーラーのドライバーに対する安全措置として遠隔操作が原則である。

④有人と自動化の混在は欧州で禁止

欧州では自動化エリアに有人トレーラーが入る場合、厳しい安全対策が必要となる。名古屋港の TCB は AGV と外部トレーラーの動線が交錯する事例であるが、欧州では禁止されている。

(3)自動化コンテナターミナルのコンテナ取扱能力の段階的な増強

1 バース当たりの自動化コンテナターミナルのコンテナ取扱能力を左右する多くの要素のひとつが、コンテナブロックラインのライン数である。言い換えれば、自動化コンテナターミナルのコンテナ取扱需要が小さい場合や、自動化コンテナターミナルの初期トラブルをリスクヘッジする場合、ライン数を抑えて設備投資を減らし、適正な取扱能力にカスタマイズすることが可能である。コンテナ取扱能力を増強したい場合はコンテナブロックラインを増設することにより対応できる。

2017 年にオープンしたメキシコの事例（自動荷役設備は End-Loading ASC と M-ShC の組み合わせ）を見てみよう（本報告末の参考写真-1 参照）。

APMT が 2017 年にオープンさせたメキシコの Lázaro Cárdenas Terminal は、バースの長さが 750m であるが、自動化コンテナターミナルのコンテナヤードは、岸壁法線からの奥行き 500m に対して幅は 370m である。APMT は、コンテナブロックライン数は 11 ライン、STS7 基で年間 120 万 TEU を取り扱えるとしている。将来は、バースの長さを 1,485m、コンテナヤードの幅を約 1,300m に延長し、コンテナブロックライン数は約 38 ライン、STS15 基で年間 410 万 TEU のコンテナを取り扱う計画である。

APMT の計画では、1 つのコンテナブロックラインのコンテナ取扱能力を約 11 万 TEU に設定している計算になり、将来の需要に応じてライン数を増設することになる。

自動化コンテナターミナルは、このようにコンテナ取扱能力の段階的な増強ができる特徴を持つ。

(4)シミュレーション・コンサルティングと、コンテナターミナルへのカスタマイズ

以上に、新規コンテナターミナル（Green Terminal）と既存コンテナターミナル（Brown Terminal）における自動荷役設備の導入ステップを示した。導入にあたって、Green Terminal と Brown Terminal に共通していることは、自動荷役設備を導入する場合、自動化コンテナターミナルのシミュレーションを行い、投資効果、効率性、安全性等の検証を行い、コンテナターミナルの諸条件に合わせて自動化システムをカスタマイズすることが必要である。

シミュレーション・コンサルティングは、下記の事項の決定に役立つ。

① 自動化コンテナターミナルの取扱能力

自動化コンテナターミナルの取扱能力は設定条件によって大きく異なる。

荷役機械サプライヤーの Kalmar, Konecranes, ZPMC の3社へのヒアリングでは、取扱能力を左右する重要な要素として表-3.10をあげている。

これらの要素を取り入れることにより、自動荷役を導入するコンテナターミナルの取扱能力を予想することができる。

表-3.10 自動化コンテナターミナルの取扱能力を左右する要素（出典：筆者の調査）

要素
<ul style="list-style-type: none"> ・自動荷役設備の種類のみ組み合わせ ・レイアウト ・自動荷役設備のサプライヤーの違いによる性能差 ・STS, ゲートの能力 ・コンテナ船の船型, 隻数 ・コンテナ船の入港時刻パターン ・船社の要請（荷役の所要時間, 入出港時刻） ・トランシッパ率 ・リーファーコンテナ率 ・外部トレーラーの交通量, ピーク率 ・鉄道輸送能力 ・コンテナの内陸輸送制限（長さ, 高さ, 重量） ・CIQの作業効率 ・コンテナの蔵置期間, ・社会的慣習（「後入れ先出し」などの荷主の要請） ・台風等の自然現象による影響度

②レイアウトに制約がない場合、自動荷役設備の能力を最大限に発揮できるコンテナターミナルのデザイン

自動化コンテナターミナルは、在来荷役型と荷役形態が異なり、自動荷役設備（ASC, ARTG, AGV, A-ShC）の性能や有人荷役（M-ShC, Chassis）の能力に応じて、コンテナブロックラインの取扱能力が最大になる長さ、1ラインのコンテナ列数、ライン数を決めることができる。

③レイアウトに制約がある場合や在来荷役型を自動化する場合、自動荷役設備の能力を最大限に発揮できるコンテナターミナルのデザイン

それぞれの条件を加えて、シミュレーションすることにより取扱能力が最大になるデザインができる。

ただし、一般的に、レイアウトの制約がない場合よりも能力は劣る。

④能力の段階的な増強

コンテナブロックライン数の増減により、段階的に能力を増やすことも、能力を抑えることもできる。コンテナブロックライン数の感度分析を行うことにより、コンテナ取り扱いの需要に合わせた最適な自動荷役設備の投資ができる。

(5) サプライヤーの選択

自動化コンテナターミナルの特徴は、コンテナの受け渡しが発生する箇所（岸壁荷役と水平輸送、水平輸送とスタッキングエリア、スタッキングエリアと陸側荷役）で、互いに荷役効率が影響しないように荷役を分離（Decoupling）できることである。荷役を完全に分離するとともに、コンテナターミナル全体の荷役効率を上げるためには、自動化が導入されているエリア（岸壁荷役、水平輸送、スタッキングエリア、陸側荷役）を自動化システムとして連動させる必要がある。

そこで、どのようにサプライヤーの選択をしたらよieldろうか？ 現実には、それぞれのエリアの自動荷役設備のうち、ハードウェアの製品と、自動化システムを担うソフトウェアとで得意とするサプライヤーが必ずしも同じではないため、状況によりサプライヤーの組み合わせが異なってくる。

たとえば、米国東海岸の Portsmouth Terminal および Global Terminal は、ASC (Konecranes), TOS (Navis), ECS (TMEIC) のハードウェア・ソフトウェアのサプライヤー3社が共同してスタッキングエリアの自動荷役設備を稼働させている。

米国西海岸の LBCT Terminal では、ASC (ZPMC), AGV (Terex・Gottwald), TOS (Navis), ECS (ABB) のハードウェア・ソフトウェアのサプライヤー4社が共同して水平輸送とスタッキングエリアの自動荷役設備を稼働させている。LBCT Terminal のオペレータ OOCL は、競合するライバルのサプライヤーを取りまとめて共同開発させている。

一方、英国の DP World London Gateway は、ASC (Kalmar), A-ShC (Kalmar), TOS (Navis) のハードウェア・ソフトウェアのサプライヤー2社が共同して水平輸送とスタッキングエリアの自動荷役設備を稼働させているが、Kalmar と Navis は Cargotec の一部であることから、Cargotec グループ（本報告では「Kalmar グループ」と表記）1社がハードウェア・ソフトウェアを提供していることになる。

筆者が2015年12月に面会した Kalmar の上級副社長 Dr. Antti Kaunonen 氏は、「総合力で競合するサプライヤーは、

ハードウェアで Konecranes・Terex グループと ZPMC の 2 社、ソフトウェアで ABB と TMEIC の 2 社である。」と明言している。

このように、サプライヤーの選択に際しては、自動荷役設備の技術力を持つ複数のサプライヤーを個別に組み合わせて共同開発するか、それとも、総合力を持つサプライヤー 3 社のうちの 1 社を選択する方法で自動荷役設備を導入するか、自動荷役設備を導入するコンテナターミナルの状況に応じて、ターミナルオペレータが方針を決める必要がある。

つぎに、自動化コンテナターミナルのシミュレーション・コンサルティングに関しては、どうであろうか？

シミュレーション・コンサルティング分野のサプライヤーは少なく、筆者が調査した限りでは 4 社に限られる。4 社のうち 2 社は荷役機械サプライヤーであり、2 社は民間コンサルティング会社である。この分野のサプライヤーが少ないのは、ハードウェアの市場規模に比べ、シミュレーション・コンサルティング分野の市場規模が小さいことが背景にある。

4 社を比較すると、荷役機械サプライヤーの Kalmar, Konecranes の 2 社が自動荷役設備に関するシミュレーションに高いノウハウを保有している。高いノウハウを持ち続けられる理由は、これら 2 社は、自動荷役設備の性能を正確に把握し、オペレータとともに共同で新しい自動荷役設備の技術開発を進めるとともに、自動化コンテナターミナルに自動荷役設備を納入した実績を背景に、導入先のコンテナターミナルの諸条件に合わせてカスタマイズするノウハウも保有しているからである。一方、民間コンサルティング会社の TBA および Quintiq は、自動化コンテナターミナルに自動荷役設備を導入した場合に発生する経営上の課題を解決するノウハウに長けている。

今後、シミュレーション・コンサルティング分野のサプライヤーとして、ZPMC が参入する可能性が高いと予想される。Kalmar の上級副社長 Dr. Antti Kaunonen 氏の ZPMC に対する評価は、「現在のところシミュレーション・コンサルティングの技術力は低いだろうが、時間の問題で強力な競合相手に成長し、いずれ 3 強時代になるだろう。」と述べている。

Dr. Antti Kaunonen 氏の発言内容は、筆者の調査でも裏付けられる。筆者が 2016 年 11 月に ZPMC を訪問した際にも、ZPMC の担当者から「厦門港、青島港、洋山深水港でシミュレーション・コンサルティングの実績を積み、サウディアラビア、パキスタン、オマーンのコンテナターミナルへ自動化ノウハウの提供をする。」との説明を受けた。

ZPMC の動向は、シミュレーション・コンサルティング分野で世界市場へ参入する動きとして、今後も注目される。

このように自動荷役設備のサプライヤーの構成は、個別の技術分野で優位に立つ複数社と、技術の総合力で優位に立つ 2 社～3 社とで成り立っている。新規に自動化コンテナターミナルを計画する場合も、既存の在来荷役型コンテナターミナルに自動荷役設備を導入する場合も、サプライヤーの選択にあたってはサプライヤーを育成する目的も含めて検討する必要がある。

検討方法には、米国の LBCT Terminal のように、複数の競合するサプライヤーで共同開発する方法もあれば、Kalmar グループまたは Konecranes グループに全面的に委任する方法もある。前者の共同開発は、PSA が Tuas Terminal に自動荷役設備を導入するために現在実施している試験にも共通している方法である。共同開発の方法は、LBCT Terminal においても Tuas Terminal においても、ターミナルオペレータのリーダーシップが重要な役割を果たしていることに鑑みると、わが国においても自動荷役設備を導入するためにはリーダーシップをとる存在が必要だろう。

4. 投資環境の変化

今までに、自動化コンテナターミナルの普及状況や技術のデファクトスタンダード化、導入のデファクトステップ化が進んでいることを述べた。

現在のターミナルオペレータや自動荷役設備サプライヤーの投資環境はどのような変化をしているだろうか？

投資環境の変化を要約すれば、図-4.1 に示すように、投資環境の変化に呼応して、ターミナルオペレータおよび自動荷役設備企業は 2 極分化と港湾労働者のスキルアップの方向へ向かっている。

4.1 ターミナル間の生産性競争へ突入

欧州では、従来、隣接する港湾間の生産性の競争や同じ港湾内に立地するコンテナターミナル間の生産性の競争が激しく、生産性の観点で優位に立つことが大きな目的になっている。

また、図-4.2 に東欧経済圏と自動化コンテナターミナルの位置を示した。1989 年のベルリンの壁の崩壊後、東欧経済圏はサプライヤー等の立地が続き、欧州の生産拠点への成長に合わせて、各コンテナターミナルは東欧経済圏を物流圏内に取り込むため、ハンブルク港の HHLA のように、内陸部のチェコに物流拠点を整備したり、黒海

に面するウクライナのオデッサ (Odessa) 港を買収したりするなど、様々な動きが出ている。

特に、欧州の自動化コンテナターミナルは、すでに自動化の導入による先行利得の時期は過ぎ、各ターミナル間での生産性の競争にさらされている。新規に参入する自動化コンテナターミナルは、自動化による生産性の向上は必須の上に、さらに、他の自動化コンテナターミナルの生産性を上回る戦略が必要である。このような状況を、DP World の Luis Turbides 氏は、「乾いたタオルを絞るような生産性の向上」と表現している。

自動化コンテナターミナルの生産性の競争に拍車をかけたのが、2007年にポーランドにオープンしたグダンスク (Gdansk) 港コンテナターミナルである (写真-4.1)。グダンスク港コンテナターミナルは、東欧経済圏にオープンしたため、地理的距離が東欧経済圏に最も近い。ポーランドは隣国のドイツに比べ人件費が安いので、Gdansk 港のコンテナターミナルは在来荷役型でオープンしたが、地理的距離の優位性、さらに東欧経済圏に直結する鉄道・道路アクセスは、在来荷役型であっても隣接するハンブルク港やロッテルダム港にとって驚異的なライバル港となった。

ロッテルダム港湾局の Arwin Stehouwer 氏 (Senior Business Manager of Container Terminals) は、筆者の訪問時に、ロッテルダム港のライバルとして、ハンブルク港、ブレーマーハーフェン港と並んで、グダンスク港の名前をあげている。

一方、東欧経済圏の成長は黒海・地中海側の港湾の活性にもつながった。図-4.3に示すように、スエズ運河を経由すると、黒海・地中海側の港湾とアジア経済圏間の海上距離は、北海側の港湾とアジア経済圏間の海上距離に比べて海上距離2,400海里 (コンテナ船で約3日の運航) 短い。ギリシャのピレウス港 (Piraeus) の自動化コンテナターミナルの拡張や、イタリアのリーグレ港 (Ligure) に2018年にオープン予定の自動化コンテナターミナルなど、黒海・地中海側の港湾の拡張・新設は、北海側の港湾にとってライバルとなる。

このように、欧州のコンテナターミナルは、お互いにライバル関係にあるため、生産性で優位に立つためには、自動荷役施設の導入のみならず、さらにほかの戦略を行う必要性に迫られている。

一方、米国では、従来、東海岸または西海岸に立地するコンテナターミナル間で、生産性で優位に立ち、市場獲得競争のための戦略がとられていたが、2016年にパナマ運河第三閘門がオープンして以来、北米大陸の東西間のコ

ンテナターミナル間の生産性の競争が加わることとなった (図-4.4)。これを裏付けるように、2016年9月、筆者が Panama Canal Authority を訪問した際に、Oscar E. Bazán V 氏 (Executive Vice President) は「第三閘門のオープン世界的な規模の競争を激しくした。」と述べ、その一例として米国東西岸間の競争を挙げている。

欧米では、コンテナターミナル間の生産性競争へ突入しているため、自動化に加えて、さらにさまざまな経営上の戦略を進める必要に迫られている。

4.2 船社にターミナルコストの負担増

船社の経営の観点から、投資環境の変化を見てみよう。船社が負担するターミナルコストの推移を表-4.1に示す。ほぼ一定の割合の「船舶に要するコスト (Vessel costs)」、乱高下している「燃油 (Bunker)」に比べ、「ターミナルコスト (Terminal costs)」は21%(2008年)から32%(2015年)に上昇している。船社にとっては、ターミナルコストの削減が経営上の課題として認識されるようになった。

4.3 海運アライアンスの再編

海運アライアンスが再編され、新しい海運アライアンスが2017年4月に配船をスタートさせた。さらに、邦船3社のコンテナ部門が統合し、「ONE (Ocean Network Express)」として、2018年4月に配船をスタートする (図-4.5, 表-4.2)。

コンテナターミナルの中には、APMT (Maersk Line) やピレウス (COSCO) など船社系のターミナルオペレータが経営するターミナルがある。また、非船社系のターミナルオペレータであっても、新しい海運アライアンスとして寄港するターミナルの調整が生まれる。邦船3社で設立したONEについても同様に、3社で個別に寄港していたターミナルの取捨選択が進むことが予想される。

4.4 自然環境保全

記述のように、米国と欧州の内陸港湾は、自然環境保全の規制を受け、ターミナル用地の拡張が困難な状況になっている。自然環境保全の規制が厳しいため、新たな埋め立ては認められない傾向にある。ハンブルク港では、コンテナターミナルに起因する騒音、光害でターミナルの稼働中止を求め最高裁まで争われた。ロッテルダム港ではAPMTがMaasvlakte IIでゼロエミッションを掲げてコンテナターミナルをオープンさせている。既存の用地内で取扱能力をあげるとともに、ゼロエミッションの実現が社会的要請となっている。

米国は欧州よりも自動荷役の導入が遅れているため、自動荷役の導入による先行利得を得られやすいが、自然環境保全の社会的要請に応じていく必要がある。米国西海岸で 2 番目の自動化コンテナターミナルであるロングビーチ港の LBCT (Long Beach Container terminal) はゼロエミッションを掲げて 2016 年にコンテナターミナルをオープンさせた。

今後も、埋め立て規制やゼロエミッションなど、自然環境保全の社会的要請が続くものと予想される。

4.5 中国企業の参入

(1) 世界最先端の自動化技術を持つコンテナターミナル (青島港, 洋山深水港)

中国では、2014 年に、初の自動化コンテナターミナルが厦門港に誕生した。ハンブルク港の HHLA の Thomas Lütje 氏が、「厦門港は処理能力が世界で最も高いコンテナターミナルである。」と称賛するほど、効率的なコンテナターミナルであり、世界のコンテナターミナルの関係者を驚かせた。

しかし、2017 年には、青島港と洋山深水港の 2 港で最新鋭の自動化コンテナターミナルがオープンし、さらに関係者を驚かせることになった。

世界のコンテナターミナルの自動化荷役は、スタッピングエリア/ブロック内を対象に遠隔操作や完全自動の技術の組み合わせが主流であるが、スタッピングエリア/ブロック内の自動化に加えて STS 荷役の遠隔操作を採用した事例は、ロッテルダム港、ジュバルアリ港等について青島港と洋山深水港である。

自動化技術に関し、洋山深水港を管理経営する SIPG (上海国際港務集団: Shanghai International Port Group Co. Ltd) の副総裁である方懷瑾氏は、筆者が 2016 年 11 月に面会した時、「全自動化荷役の導入に当たって、イノベーションや人工知能の将来性を調査するため、日本や欧州へ調査に行った。日本では名古屋港飛島南ターミナルを訪問した。海外の港湾の調査を終えて、今後も自動化荷役技術が発展すると認識することができた。今や純国産による技術開発、効率性・安全性の向上に自信がある。」と、自動化の技術に自信を示している。

また、洋山深水港第 4 期の取扱能力に関して、方懷瑾氏は、「第 4 期の場所は奥行きが 500m しかないが水深は深い。在来荷役型では取扱能力は 500 万 TEU が限界だが、自動荷役設備を導入することにより取扱能力を 630 万 TEU に拡大できた。」と述べている。(洋山深水港のコンテナ取扱能力の公式発表は 600 万 TEU であるが、実質 630

万 TEU である。)

(2) 中国が自動荷役設備を導入する背景

中国がコンテナターミナルの自動化を進める目的は、増加するコンテナ貨物量と埋め立てコストの削減と、若い労働者の確保のための労働環境の改善である。欧米のように港湾労働者の人件費率が高いコンテナターミナルと異なり、中国の場合、人件費の削減という観点はない。

一般に、自動荷役設備を導入する背景には、取扱コンテナ量の増加に対し、面積当たりの取扱量の向上、人件費の削減、電動化による自然環境保全など、自然環境保全を進めながら、コンテナターミナルの高い生産性を追求せざるを得ない状況がある。

洋山深水港においても、同様の問題が発生している。上海港は、すでに整備された外高橋地区や、洋山深水港の第 1 期～第 3 期は能力の限界に達しており、緊急に洋山深水港第 4 期を供用させなければならない状況になっていた。しかし、コストをかけずに洋山深水港で新たに埋め立て造成できる場所は限られており、さらに埋め立てできる面積が小さいため、面積当たりの取扱量の向上が課題となった。

また、中国では一人っ子政策の影響で若い労働者人口は全体に少なくなっており、都市から隔離された洋山深水港に勤務する若い労働者を確保することが困難となっている。労働者確保の観点から港湾荷役の労働環境を改善しなければならないことが課題となっている。

(3) ZPMC の成長

自動荷役設備を納入した荷役機械サプライヤー「ZPMC」は、中国政府が掲げる技術の国産化政策により急成長を遂げ、今や、欧米の 2 大企業グループと肩を並べるまで技術力を向上させ、自動化コンテナターミナルの総合企業へ成長している。さらに、遠隔操作が可能な STS の海外輸出にも力を入れており、オマーンのソハール港やパキスタンのカラチ港での商談を進めている (図-4.6, 図-4.7)。

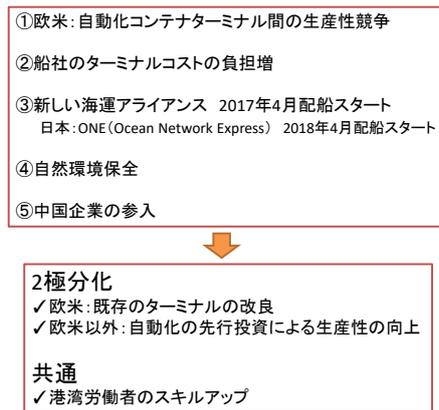


図-4.1 投資環境の変化 (出典: 筆者の調査)

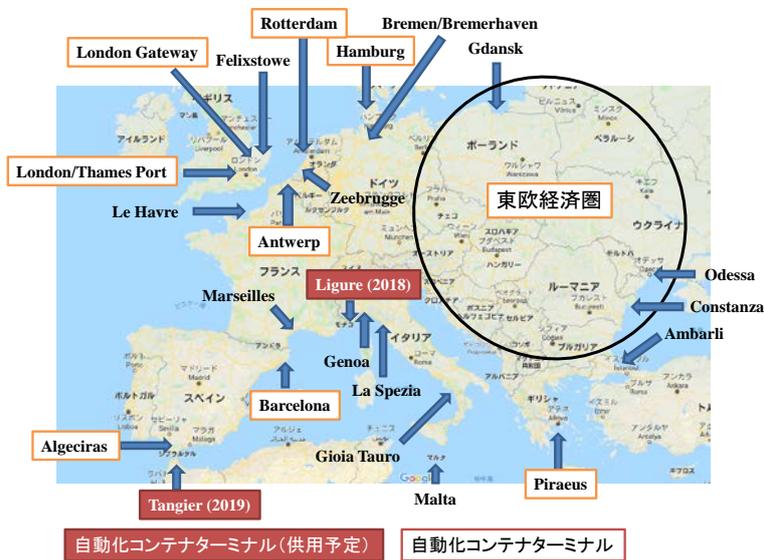


図-4.2 東欧経済圏と自動化コンテナターミナル間の生産性競争



写真-4.1 Poland 初の Gdansk 港大水深コンテナターミナル (筆者撮影)



図-4.3 欧州の港湾とアジア経済圏間の海上距離
 北海沿いの港湾よりも黒海・地中海沿いの港湾のほうがアジア経済圏に近い。

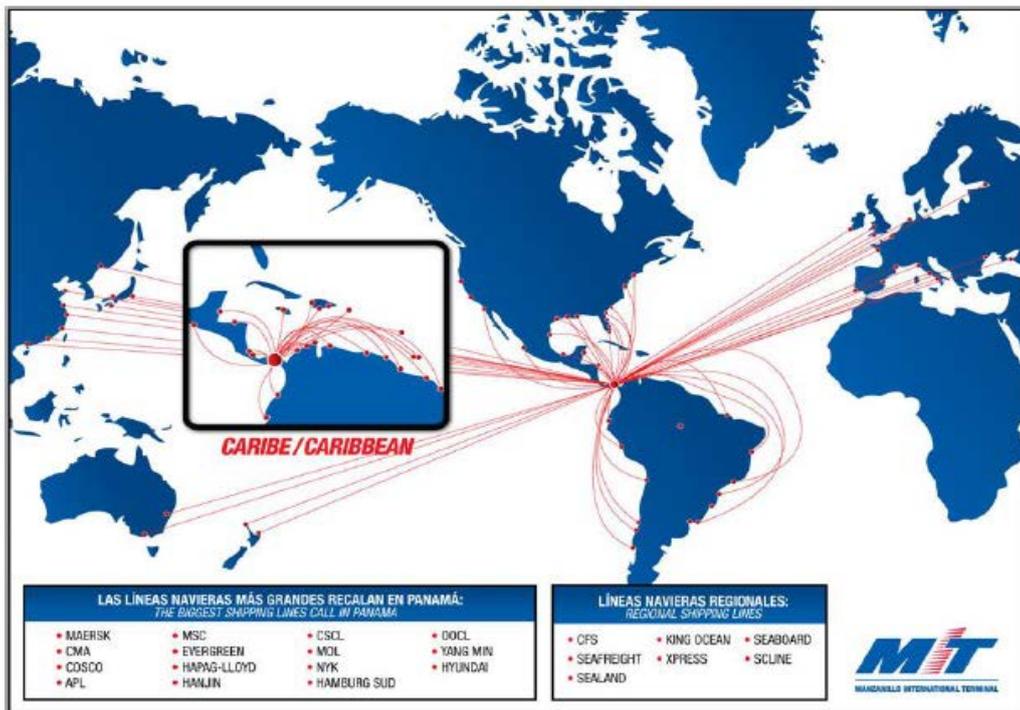


図-4.4 北米とパナマ運河
 パナマ運河第3開門の開通は北米の東西岸の港湾ターミナルの優位性競争を意識させた。
 (出典：パナマのManzanilloターミナルオペレータ MIT)

表-4.1 Maersk Line におけるコスト構造の変化
 (出典：AP Moller Maersk Annual Reports, NAVIGATING VOLATILITY)

Costs	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	\$21.8bn
Vessel costs	26%	24%	25%	24%	26%	26%	27%	N/A	28%	\$6.1bn
Bunker	20%	25%	18%	21%	26%	25%	21%	N/A	13%	\$2.8bn
Terminal costs	21%	21%	25%	25%	24%	24%	26%	N/A	32%	\$7.0bn
Other	33%	30%	32%	30%	24%	25%	26%	N/A	27%	\$5.9bn

新しい海運アライアンス 2017年4月配船スタート
 ONE (Ocean Network Express) 2018年4月配船スタート

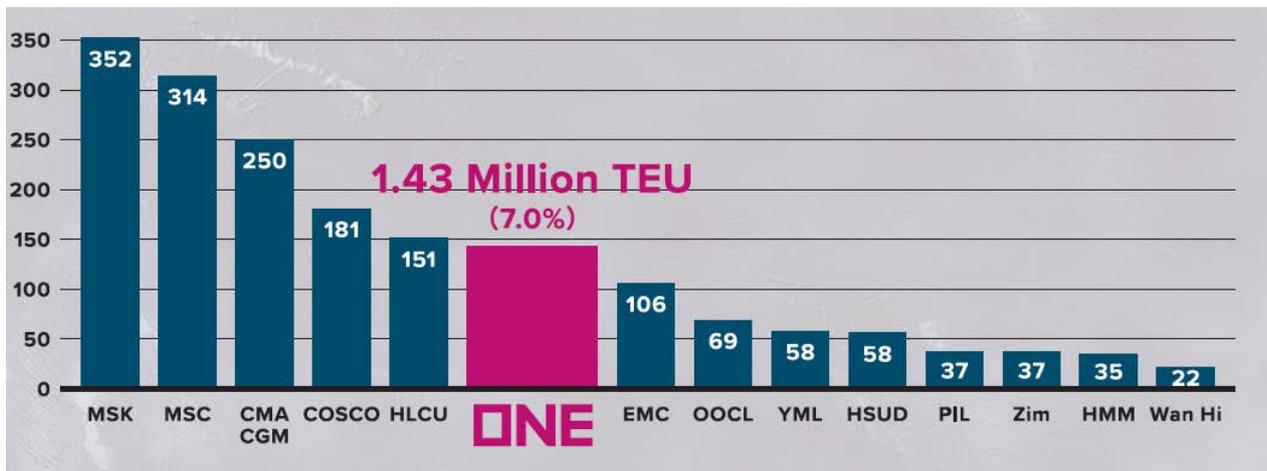
海運アライアンス	船社
2M	Maersk Line, MSC, 現代商船
Ocean	CMA-CGM, COSCO, OOCL, 長栄海運
THE	日本郵船, 商船三井, 川崎汽船, Hapag-Lloyd, ZIM

↓
 ONE (Ocean Network Express)

↓
 コンテナターミナルの再編

図-4.5 海運アライアンスの再編と ONE の誕生

表-4.2 Ocean Network Express (ONE) のフリートサイズ
 (単位：万 TEU) (出典：Ocean Network Express Pte.,Ltd)



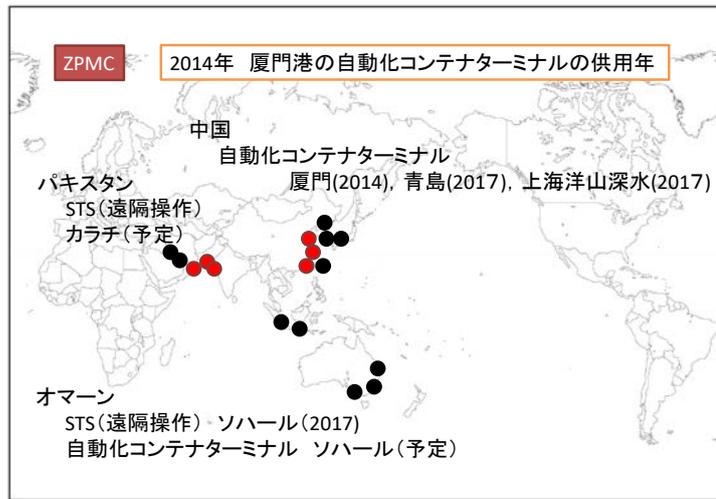


図-4.6 廈門港の自動化コンテナターミナルの供用で注目
は ZPMC の進出国・地域で競合関係を示す。
は ZPMC 以外の社の進出国・地域を示す。



- ✓自動化コンテナターミナル総合企業へ
自動化制御技術(ECS)
ASC(自動), STS(遠隔操作), AGV(リチウムバッテリー)
- ✓海外進出
STS(遠隔操作)の輸出(オマーン, パキスタン)

図-4.7 ZPMC : 世界最先端技術を保有する企業へ成長

表-4.3 自動化コンテナターミナルの技術構成と中国企業 (出典: 筆者の調査)

構成技術	内容	企業
TOS: Terminal Operating System	Berth Plan Ship Plan Yard Plan Management Decision	NAVISなど 華東電子(廈門港)
ECS: Equipment Control System	Route Plan Equipment Control (STS, AGV, ASC) Equipment Scheduling	ABB Kalmarグループ Konecranesグループなど ZPMC
荷役設備	製作	ZPMC(シェア75%以上) Kalmarグループ Konecranesグループなど

(4) ZPMC の概要

ZPMC（上海振華重工集団股有限有限公司：英語名 Shanghai Zhenhua Heavy Industry Co. Ltd.）は、港湾荷役設備を専門とするクレーンサプライヤーであり、旧称（Zhenhua Port Machinery Company）の略称 ZPMC を現在も使用している。

中国交通部（交通省）の交通建設集団の傘下企業として 1992 年に設立され、2007 年には 1,000 台の STS を製作し、今や、世界の STS の 7 割、RTG の 5 割のシェアを持つ企業に成長した。上海郊外にある生産工場は、STS を年間 200 機生産する能力を持つ。技術レベルも年々向上し、ロッテルダム港 APM Terminal の遠隔操作による自動 STS の納入実績を持つ。世界 95 か国で販売実績があり、世界 36 か所に拠点を置き、販売・メンテナンスの対応体制をとっている。日本では京浜港で RTG の納入実績がある。近年は橋梁建設にも進出し、米国サンフランシスコの大型鋼製橋梁の下請け企業としての受注実績を有する。

また、中国政府の純国産技術による自動荷役設備の開発方針を受け、青島港および洋山深水港第 4 期向けの AGV、遠隔操作による STS を開発している。

ZPMC と他のクレーンサプライヤー（三井造船、Kalmar など）との大きな相違点は、自社で STS を輸送する専用船を 27 隻保有することである。自社で専用船を保有する理由は納期に柔軟に対応できるようにするためであり、他のクレーンサプライヤーが台船をチャーターして輸送することに対し、納期の柔軟性で圧倒的な競争優位に立っている。

ZPMC の STS の価格競争力がある点に関して、筆者が 2016 年 11 月に訪問した際に、ZPMC の副総裁である周崎氏は、「ZPMC では、中国向けと海外向けで仕様が異なる。中国国内向けの方が海外向けよりも要求水準が高い。例えば STS は中国国内向けでは 1 時間に 30movement 以上のスペックであるのに対し、海外は 22movement のスペックである。STS の納入先から要求されるスペックに応じて価格が決まる。日本は通常 40movement 以上のスペックを要求されるので、高額となる。」と述べている。

(5) 中国政府が進める純国産技術化

表-4.3 は、自動化コンテナターミナルの技術構成と、構成技術に対応した内容と企業を整理したものである。

ZPMC はもともと荷役設備サプライヤーであったが、近年は自動化ソフトである ECS (Equipment Control System) の分野にも参入している。また、2014 年にオープンした厦門港では、TOS を中国企業の「華東電子 (Huadong)」

が開発している。

一般に、コンテナターミナルの自動荷役の技術は、様々な技術を総合して構成されている。たとえば、ZPMC 製の RTG の場合、鋼材は武漢製鉄（中国鉄鋼サプライヤー）、モーターは GSE、電気システム・バッテリーは安川電機、ワイヤーは東京製綱、変圧器は東芝から提供を受けて製作してきた。中国は純国産技術により生産しようとしている。

純国産技術による開発には、2 つの条件が必要である。一つ目は、技術開発するための強力な支援であり、二つ目は、技術開発後の製品の市場である。

まず、技術開発するための強力な支援体制についてみてみよう。

SIPG の副総裁である方懷瑾氏によれば、「中国政府は、純国産技術の開発を政府の方針として掲げ、自動化荷役システムの開発の分野においても純国産技術で開発を進めることにした。外国企業の技術の導入を断念した当時は、純国産技術で開発できるか自信がなかったが、使命感を持ってチャレンジした。」と述べているように、政府の方針を受け、純国産技術で開発せざるを得ない状況に追い込まれ、ZPMC と協力して開発している。

次に、技術開発後の製品の市場についてみてみよう。純国産技術による自動化荷役システムの開発対象は、2 種類選定され、一つ目が在来型荷役を改良して自動化荷役システムを導入する開発、二つ目が新規に全自動化荷役システムを導入する開発である。前者の港湾として厦門港が、後者の港湾として青島港と洋山深水港が選定された。

ZPMC の副総裁である周崎氏は、「中国政府は、ZPMC に厦門港で既存の在来型荷役の港湾の改良による全自動化荷役システムの導入を進めさせた。一般に在来型荷役の港湾を自動化荷役へ改良することは高い技術レベルを必要とする。ZPMC 社内でも既存の港湾の改良を手掛けるには技術的な課題が多いという認識を持っている一方で、この国家プロジェクトを成功させなければならないという国家的使命があり、ZPMC 社内のエンジニアには自らの背丈を超えたチャレンジに挑んだ。」と述べている。

洋山深水港第 4 期の自動化ターミナルは、当初、2016 年 6 月に試運転を予定していたが、計画が遅れ、2017 年末にずれ込んだ。SIPG は、当初の計画に、ZPMC による自動化コンテナターミナルの稼働率や生産性が悪いようであれば在来荷役型へ変更する柔軟性を持たせている。このことは、SIPG は、試運転の段階では、ZPMC の技術開発に対しリスクヘッジできるようにする一方で、SIPG の副総裁である方懷瑾氏がつぎのように述べていること

は、SIPGがZPMCに対し、強力な支援を行っていることを示している。

SIPGの副総裁である方懷瑾氏は、「ソフトウェア(TOS)の独自開発を2014年からスタートし、Ver.5の完成により、今や技術ノウハウを保有するに至った。Ver.5はターミナル内のコンテナ管理のみならず、船舶のコンテナも管理できる画期的なシステムである。独自のソフトウェアは、交通大学、ZPMCのノウハウを吸収して、中国の企業『海博』に委託して開発させた。洋山港第1期～第3期の在来型荷役ターミナルに、今後、半自動・全自動のシステムを導入していく。」と述べ、自社開発したTOSに関する自信とともに、今後、在来荷役型コンテナターミナルの自動化を進める方針を示している。

また、自動荷役設備の操作の習熟訓練のため、40名のエンジニアを国内外へ派遣してノウハウを蓄積している。エンジニアは120名を配置し、メンテナンスに充てる予定だ。自動荷役設備のオペレータとして70～80人配置し、実機で1年間訓練を実施後、オペレータとして勤務させる。方懷瑾氏は、訓練に関し、「自動化に関して言えることは、10年間現場に出ていたベテランよりも1年間自動化の現場を経験したのちにオペレータにする方が自動化技術の習得が早い。」と、年齢の若い職員の採用の重要性を強調している。

(6) 自動荷役設備のメンテナンスのノウハウ

洋山深水港第1期～第3期、上海港外高橋地区は、在来型荷役のコンテナターミナルであることから、SIPGは、コンテナ取扱能力を向上させるため、既存の荷役設備の自動化を進めている。

わが国と中国では荷役設備の稼働率が根本的に違うことから、荷役設備に対する設計やメンテナンスの考え方が異なっている。

中国では、STSの1機を24時間稼働させ年間24万TEU～最大30万TEUを取扱う。この数字は、1時間当たり連続して27TEU～34TEUの荷役に相当する。上海のコンテナターミナルのSTSオペレータの能力は、わが国と同様に非常に高い。

しかし、わが国と中国では荷役設備の稼働状況が異なる。わが国でもSTSは1時間当たり30TEU以上荷役するが、コンテナ船が着岸している時間が少ないため、STSは年間のほとんどの時間が休止状態となって、首を上げている。一方、上海では、STSを24時間連続して稼働させている。

このため、中国と日本ではメンテナンスへの取り組み方法が異なっている。中国では長時間連続使用による疲

労破壊防止の観点からメンテナンスを実施している。STSの駆動系(モーター、ワイヤー、ギアボックス)の摩耗が激しいため、短期間で取り換える必要がある。一方、日本は連続使用による疲労問題はほとんど発生しておらず、法定検査期間の到来による(一社)クレーン協会の検査合格のためのメンテナンスを実施している状況である。

自動荷役設備のメンテナンスについても、海外では24時間連続稼働という前提に立つて行うケースがある。中国の方が、連続使用した場合のメンテナンス方法等に関し、わが国よりもノウハウの蓄積が大きいのが現状である。

4.6 二極分化

前述の投資環境の変化を受けて、自動化コンテナターミナルの投資は2局分化している。

一つの方法は、自動化コンテナターミナル間の生産性の競争で優位に立つために、既存の自動荷役を改良する方向である。もう一つの方法は、新規の市場で先行利得のため、アジア・アフリカ・中南米へ投資する動きである。

(1) 既存ターミナルの改良

欧州では、すでに主要港で自動荷役設備が稼働しているため、様々な企業により競争優位に立つための戦略が提案されている。以下に一部を紹介しよう。

① Kalmarの戦略

自動荷役のさらなる高度化を目指すため、有人と無人の境界(自動荷役ヤードの内外、水切りサイドなど)をロボット化(Robotization)によって生産性・安全性の向上を実現する内容である。これは、無人化を促進することにより、人件費の削減と労働安全性の向上を狙うものである。

②Orbita Ingenieriaの戦略

産業用制御システムSCADA(Supervisory Control and Data Acquisition)を活用して、電力消費と発電、コンテナヤード内のサービス情報(電力消費、水供給、消火設備など)、CHE(Cargo-handling Equipment)情報(荷役設備のアラーム情報・稼働・メンテナンス情報など)に関するプロセスを制御するソフトウェア・ハードウェアを自動荷役設備に導入する内容である。これは、自動荷役の効率性の向上、省エネによるコスト削減を狙うものである。

③ABBの戦略

完全自動化(Full Automation)を実現するシステムを導入する内容である。2020年～2050年を開発目標とし、コ

コンテナターミナルのコンテナ取扱量を1バース当たり100万~1,000万TEU、1隻の荷役時間を24~36時間で実現するシステムである。このシステムにより、取扱能力は30~50%増加することになる。

④Konecranesの戦略

自動荷役設備のデータを本社がリアルタイムで一元管理し、稼働率の向上、設備の更新、メンテナンスコストの削減を実現する内容である。わが国の建機サプライヤーであるコマツの事例を応用した内容である。

⑤IBMの戦略

AIプラットフォーム「IBM Watson IoT」の採用による省力化を進める内容である。

⑥ハンブルク港の戦略

制約条件下での生産性向上のため、ターミナルオペレータの経営方法に、経営手法の「DMAIC」や「KPI」を導入し、経営学の観点から、ターミナルオペレータの経営そのものを改善する内容である。

「DMAIC」は、経営の中で起こるミスやエラー、欠陥品の発生確率を最小にすることを目標に、ミスやエラーを Define-Measure-Analyze-Improve-Control ステップにより体系的に改善する手法であり、「KPI (Key Performance Indicators)」は会社の目標達成の度合いを明らかにする計量基準を採用する手法である。両者の指標を活用することにより、業務品質向上、生産性改善、品質・歩留向上から顧客サービス改善まで幅広い業務改善を進める内容である。

①~⑤は、自動荷役システムに組み入れて、より一層自動化による効果を発揮できるようにするソフトウェア・ハードウェアであるが、⑥は自動化そのものよりもターミナルオペレータとしての経営を改善することにより利益率や生産性の向上を狙うものである。

欧州の自動化コンテナターミナルでは、自動化による生産性の向上は「当たり前」であることから、自動化によって生産性の優劣は僅差になっていることが背景にある。このため、上記の企業も含めて、様々な企業から生産性の向上を進める戦略がターミナルオペレータに対して提案されている。

一方、一部のターミナルオペレータにより、IoTやAIの導入により、自動化コンテナターミナルの稼働を改善する動きが出ている。ただし、導入による費用対効果などに関しては具体的な提案はこれから出されてくるものと

予想される。

欧州の動きは、欧州以外の地域にも影響を与えている。たとえば、ハンブルク港のKPIはパナマのターミナルオペレータMITも採用し、経営に役立たせている。

(2) アジア・アフリカ・中南米への投資の動き

欧州域内における自動化コンテナターミナル間の生産性の競争とあいまって、新規の市場で先行利得のため、アジア・アフリカ・中南米へ投資する動きがでてきている。図4.8に、新たに進出した(する)自動化コンテナターミナルの位置を示している。

各コンテナターミナルは、競合相手を明確に意識して進出している。競合相手となるコンテナターミナルは、東南アジアの場合はシンガポール、中近東アジアの場合はアブダビ、アフリカの場合はスペインのアルヘシラス、中南米の場合は北米東西海岸である。これらの進出の背景には、アジア・アフリカ・中南米のコンテナ貨物の取扱量の増加が期待できることがあるが、企業戦略として、インドネシアはKonecranesグループの拠点として、メキシコ、モロッコはAPMTの拠点として足場を築く意図がある。

ターミナルオペレータが新たな市場開拓する港湾は、先述のように世界で100港程度を対象に投資環境が整った港湾の中で選択することになるが、ターミナルオペレータや自動荷役設備に携わる企業にとって自動化コンテナターミナルを建設し経営することはリスクを伴う先行投資であることから、進出にあたり市場分析を綿密に行っている。一方で、Konecranesグループがインドネシア市場に先行投資したように、自動荷役設備のグローバル企業であるKonecranesグループ、Kalmarグループ、新規参入したZPMCの3社は互いの企業動向を牽制しながら投資戦略を立てている。特に最新鋭技術を保有し、有望な中国市場を独占できるZPMCは、KonecranesグループとKalmarグループにとって脅威な存在である。これら3社は今後どのような戦略で市場獲得に出てくるのか注目される。

4.7 港湾労働者のスキルアップ (VR, ゲーミフィケーション)

自動化コンテナターミナルにおいても港湾労働者の訓練を行うことにより生産性が向上することが認識されるようになり、ターミナルオペレータは様々な方法で訓練を実施している。

訓練の内容は、自動荷役設備の導入当初は自動荷役設備に対する習熟訓練が中心であるが、習熟訓練が終了すると、1時間当たりのコンテナ取扱量の向上を目指した訓

練を実施している。

TBA（英国とオランダに本社を置くソフトウェア会社）は、2017年4月のPTI主催の国際会議で、「STSのオペレータ250人超に対し、訓練を実施したところ、1時間当たりのコンテナ取扱量が32%向上した」というデータを公表している。

訓練による取扱量の増加は、コンテナターミナル間の生産性競争に晒されている欧米のターミナルオペレータに限らず、アジア・アフリカ・中南米に進出したターミナルオペレータにも共通の課題と認識されており、ターミナルオペレータは様々な訓練を実施している。

訓練の手法の開発が進んでおり、PTI主催で2017年4月に開催された国際会議では下記の先進的な訓練が紹介され、注目されている。

①バーチャルリアリティ（VR：Virtual Reality）の技術を使用した訓練

ターミナルの設計の段階からVRでデザインや安全性を確認し、ターミナルの危険を設計段階から避ける訓練である。VRを利用した訓練により、港湾労働者の技術の向上や安全意識の定着を行うことができる。図-4.9は、オープン前のコンテナヤードを設計通りに再現し、VRを利用して、危険箇所（この場合は走行車線に設置された証明施設）を発見する訓練内容を示している。

②ゲーミフィケーション（Gamification）の技術を使用

ゲーミフィケーションとは、TVゲームの技術やメカニズムを利用することである。安全教育や啓発は、一般的に集中力の継続が難しい分野であるが、ゲーミフィケーションは、夢中にさせ集中力を継続させるゲームのノウハウを利用し、受講者の集中力を安全教育や啓発にむけて継続させることを指す。すでに、産業分野での導入が進んでいる。写真-4.2は、動画を見ながら危険行為を指摘する訓練である。ゲームの感覚を取り入れ、受講者が飽きないように楽しむ要素が含まれている。

港湾労働者の安全教育や啓発は重要なことであるが、飽きやすい内容を飽きないようにすることも重要である。ゲーミフィケーションは港湾労働者の安全教育や啓発における画期的なスキルとなる。

5. 最先端技術の保有企業による寡占

最先端技術を保有する企業の寡占状態となっている。自動荷役設備の産業界はどのような状況か、見てみよう。

5.1 欧米2大企業グループに肩を並べたZPMC

図-5.1に、筆者の調査による「自動荷役設備の業界地図」を示した。自動荷役設備の分野を、「荷役設備」、「要素技術」、「システム/エミュレーション」、「コンサルティング・シミュレーション」の4分野と、4分野のすべてをカバーする「総合企業」に分類すると、総合企業に分類されるのは、Konecranesグループ、Kalmarグループ、ZPMCの3社である。

日本企業は、荷役設備に三井造船、PACECO（三井造船の海外企業）、豊田自動織機、要素技術に安川電機、システム/エミュレーションにTMEIC（東芝三菱電機産業システム）を掲載した。要素技術では、様々な日本企業が参入しているが、主要な企業を掲載している。

なお、TEREX（米国）はKonecranes（フィンランド）と経営統合しているため、Konecranesグループに含まれる。ロッテルダム港のDelta TerminalのAGVを製造したGottwald社はM&AによりTerexに吸収され、現在はKonecranesグループの製品として販売されている。

なお、図では、Kalmar（フィンランド）およびNavis（米国）はCargotec（フィンランド）の一部門であるが、「Kalmar」ロゴの知名度が高いのでKalmarグループとした。

表-5.1に、自動荷役設備のハードウェアとソフトウェアの分野と、ノウハウ・実績をもつ企業（サプライヤー）の対応表を示した。ZPMCは、STS、RMG、RTG等の荷役設備でスタートした企業であるが、青島港および洋山深水港第4期の自動化コンテナターミナルへの納入実績により、今や、AGVやAutomation/Emulationの分野のノウハウ・実績を保有する企業に成長した。欧米2大企業グループに肩を並べたといえよう。

筆者が2016年11月に、ZPMCの本社を訪問した際に、ZPMC総裁の黄慶豊氏と対面した。黄慶豊氏は、欧州でのトップセールスから帰国した直後で、数日後に、またトップセールスに出かけるということであった。ZPMCの成長の背景には、技術開発力（人材、資金等）や政府の支援ばかりではなく、トップの営業交渉力も大きな要素である印象を受ける対面であった。

5.2 自動荷役技術とサプライヤーの寡占

自動化コンテナターミナルの自動荷役設備（ハードウェア）を納入した実績を持つサプライヤーを見ると、水平輸送はKalmarグループ、Konecranes・Terexグループ（Gottwald）、ZPMC、VDL、Gaussin Manugistique、豊田自動織機・三菱重工業（三菱重工業の搬送システム事業は、2012年に三菱重工マシナリーテクノロジーを経て、2015

年に住友重機械搬送システムに統合された)の名が、スタッキングエリアの荷役機械は Kalmar グループ、Konecranes (Gottwald) グループ、ZPMC, Künz, 住友重機械搬送システム (MHIMT) の名がある。納入実績の多さでは、水平輸送およびスタッキングエリアの荷役機械の分野は、いずれの分野も Kalmar グループ、Konecranes グループ、ZPMC の3社が他社を圧倒している。

このような寡占の背景には、一般に、技術開発に伴う下記の理由がある。

- ①製品の生産数が多い企業は、開発コストの吸収、規模の経済等により価格競争力で優位であること
- ②ターミナルオペレータにとって、自動荷役設備の導入の初期投資額が大きいため、信頼性のある設備を選択する傾向が強く、言い換えれば、すでに実績のある企業の設備を選択する意向が強いこと
- ③設備を開発する企業にとっても、すでに自動荷役技術開発に先行した企業による技術のブラックボックス化や知的財産権化が進んでいるため、後発企業が自動荷役設備の開発に参入するには先行技術の利用や莫大な開発資金の負担が可能な体力が必要になること

これらの理由は、自動化コンテナターミナルの稼働実績が増えるにしたがって固まってきたといえる。黎明期には稼働実績が少ないため、次のような事例があった。

世界初の自動化コンテナターミナルである Delta Terminal のオペレータ ECT に 2016 年 1 月に訪問した際、ECT の Senior Commercial Executive である Ulco H. Bottema 氏は、「世界初の自動化コンテナターミナルであるため、荷役機械サプライヤーの Kalmar, AGV サプライヤーの Gottwald および VDL と共同開発を進めた。AGV を Gottwald 社と VDL 社 2 社から導入した理由は、トラブルによるリスクを分散したかったからだ。AGV を 1 社に固定すると、トラブルで AGV システムが止まった場合、ターミナル全体が麻痺してしまう恐れがあった。」と、共同開発の必要性とともに実績のない設備投資に対するリスク分散の必要性を述べている。

Delta Terminal から 9 年後の 2002 年にオープンした CTA Terminal の場合、ターミナルオペレータ HHLA の Thomas Lütje 氏は、「Delta Terminal で採用した Kalmar の ASC は品質に問題がある。自動荷役設備はすべてオーストリアの荷役機械サプライヤー Künz に統一した。」と述べ、Kalmar の先行事例を研究し、リスクが少なくなるように他の自動設備サプライヤーを選択したことを述べている。

ただし、前述のように、Künz の自動荷役設備の導入は、HHLA のターミナル経営者を、稼働から 18 か月間コスト割れさせるなど、初期トラブルによる稼働率の低下で悩ますことになった。その後、HHLA は、CTA Terminal の稼働から 8 年後の 2010 年に CTB Terminal を稼働させている。CTB Terminal では自動荷役設備サプライヤーとして Kalmar を選択したが、一転して、この時点では Kalmar の ASC の品質問題は、Kalmar 製品の導入を拒否する結果とはなっていない。

オーストラリアの Patrick Terminal では、1996 年にターミナルオペレータの Patrick 社が荷役機械サプライヤー Kalmar と Patrick Technology & Systems Pty Ltd を設立し、シドニー大学 (the Australian Centre of Field Robotics at the University of Sydney) と共同で自動荷役設備 AutoStrad の開発に着手している。2001 年には、現在のコンテナターミナルに隣接する用地を取得し、AutoStrad の試験場として試運転を実施し、2005 年に現コンテナターミナルの半分で暫定的にオープンさせ、初期トラブルの処理を済ませて、2009 年にフルオープンしている。Patrick Terminal の自動荷役設備の開発を進めるにあたって、その背景には、オーストラリアのターミナルの生産性の低さとともに、すでに自動化コンテナターミナルとして供用を開始した Delta Terminal, Thamesport Terminal の存在が、産学共同の技術開発の背中を押していることがうかがえる。自動荷役設備の導入にあたっては、産学で共同開発を進めるとともに、実証試験場を確保して試運転を重ねるのみならず、コンテナターミナルの半分で暫定的にオープンし、初期トラブルの処理にあたるなど、新しい技術の導入に慎重を期している。

先行利得期および普及期を経て稼働実績が増えると、技術的信頼性に加え、価格が重要になっている。

価格競争力による事例として、TraPac は商船三井 100% 出資の米国法人であったが、自動荷役設備の導入の決定の際には、同じ財閥系の三井造船 (Paceco) よりも低廉な価格を提示した Kalmar グループを選択している。TraPac の社長である Frank Pisano 氏は「価格差で決まった」と述べている。

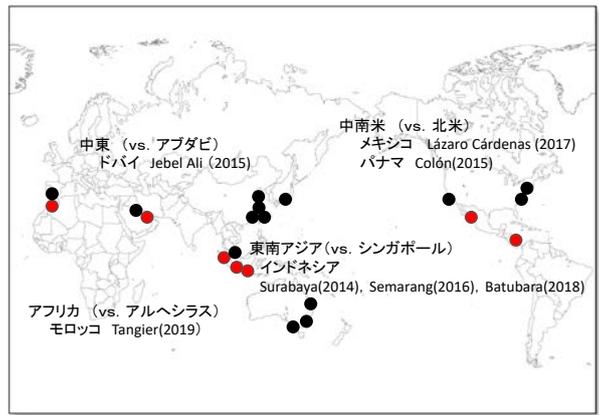


図-4.8 アジア・アフリカ・中南米への投資の動き
赤丸は新規投資を，黒丸は既存の位置を示す。

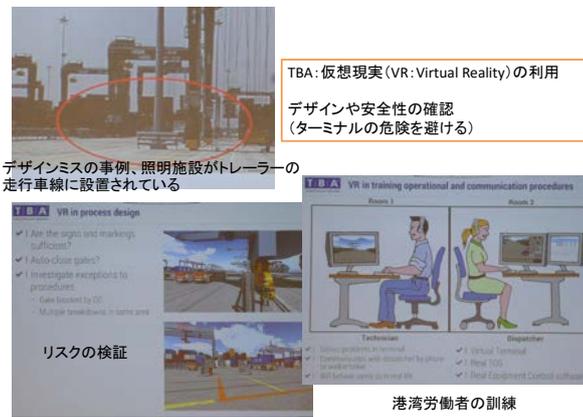


図-4.9 港湾労働者のスキルアップ (VR 利用) 出典：TBA

図は，VR を利用して，危険な個所に気づく訓練をしているイメージである。



写真-4.2 VR・Gamification 利用による訓練画像 (出典：TBA)

訓練用の動画のサンプル。動画を見て，楽しみながら，危険個所を指摘する。

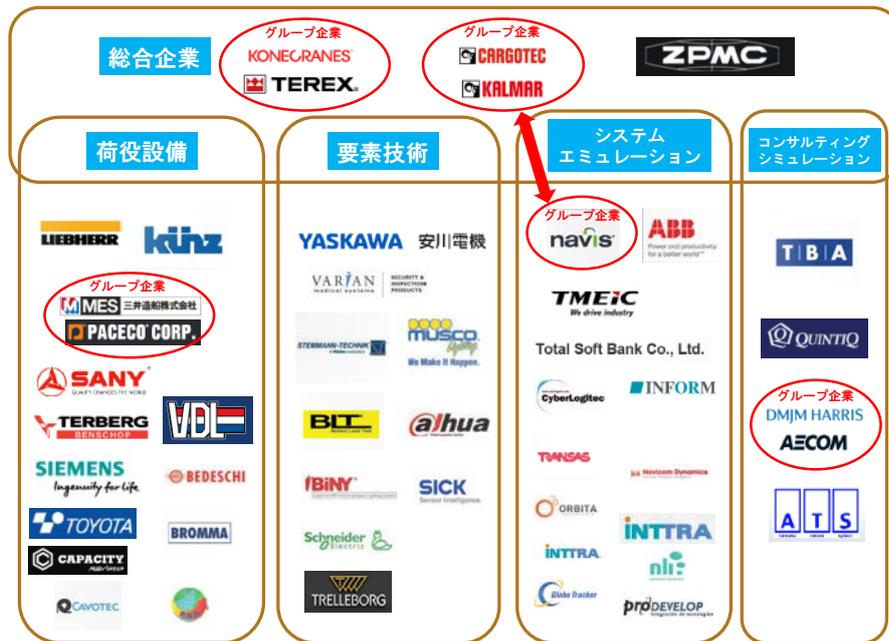


図-5.1 自動荷役設備の業界地図 (出典：筆者作成)

(注) 主要なサプライヤーを示した。分類は納入実績の多い分野を示した。

このほかにも、多くのサプライヤーが存在する。

(注：Konecranes と Terex は 2015 年に経営統合した。Kalmar, Navis は、Cargotec の一部門である。)

表-5.1 欧米2大企業グループに肩を並べた ZPMC (出典：筆者作成)

(右) 自動化分野 (下) Suppliers	STS Ship to Shore Crane (Quay Crane)	RMG Rail Mounted Gantry Crane	RTG Rubber Tired Gantry Crane	ASC Automatic Stacking Crane	SC Straddle Carrier	SHC Shuttle Carrier	AGV Automated Guided Vehicle	ATT Automated Terminal Trailer	Control Equipment	Automation System / Emulation	TOS Terminal Operating System	Simulation / Consulting
Cargotec (Kalmar): フィンランド Navis: 米国	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○
Terex Port Solutions (TPS): 米国 (Gottwald)	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○
Konecranes: フィンランド	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○
ZPMC: 中国	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Liebherr: ドイツ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Künz: オーストリア	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
三井造船MES: 日本	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Paceco: 米国	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
住友重機械搬送システム: 日本	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Sany: 中国	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
SIEMENS: ドイツ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
安川電機: 日本	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
豊田自動織機Toyota: 日本	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Gaussin Manugistique: フランス	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
VDL: オランダ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Terberg: オランダ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Capacity: 米国	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
東芝三菱電機産業システム TMEIC: 米国(日本)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ABB: スイス	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Inform: ドイツ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
INTRTRA: 米国	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ORBITA: スペイン	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
TBA: 英国, オランダ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
QUINTIQ: 英国	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Total Soft Bank: 韓国	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
CyberLogtec: 韓国	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

ただし、2015年10月に、商船三井(株)常務執行役員・米州総代表の小西俊哉氏が筆者に対して、初期トラブルにより稼働率が在来荷役型に比べ20%低下したことに関し、「自動化コンテナターミナルの稼働時は、初期トラブルによる稼働率の低下は避けられない」と述べているのが現状である。TraPacとして初期トラブルは経営上の大きな問題であることから、TraPacは、初期トラブルの早期解消のため、荷役機械の購入先であるKalmarに対し善処を求めている。筆者が同年12月にKalmarを訪問した際に、上級副社長のDr. Antti Kaunonen氏は、「商船三井の小西俊哉氏と初期トラブル対策の協議を行っている」と述べている。

中国ではどうであろうか？

廈門港のXYCT Terminalで2014年にターミナルオペレータであるCOSCOが自動化コンテナターミナルを荷役機械サプライヤーZPMCとともに稼働させている。その後、廈門港の経験を活かし、2017年に青島港および洋山深水港の自動化コンテナターミナルを稼働させている。

洋山深水港の自動化コンテナターミナルの稼働は、試験的要素が強く、必ずしも、今後、洋山深水港のコンテナターミナルに全面的に自動荷役設備を導入する意向ではない。筆者が2016年4月に上海市交通局を訪問した際に、上海市交通局は、「自動荷役設備の稼働率や生産性が悪いようであれば在来荷役型に変更する柔軟性を持たせている。」と述べ、自動化コンテナターミナルの稼働状況を見ながら、今後ともに自動荷役設備を導入するか判断するとしている。上海市交通局は、自動荷役設備の技術を完全に信頼しているわけではなく、あくまで試験運転という位置づけであるが、一方で、自動荷役の導入の当事者であるSIPGおよびZPMCは、技術開発をやり遂げざるを得ない使命感を持っており、既述のとおり、同年11月に筆者に、SIPGの副総裁である方懷瑾氏は、「中国政府・ZPMCと一体となって自動化を実現しなければならず、在来荷役を導入する余地は無い状況である」と述べ、ZPMCの副総裁である周崎氏も「中国政府とSIPGの強力な支援があって技術開発に臨んでいる」と述べ、自動化を断念する選択肢はないことを示している。

つぎに、自動化コンテナターミナルの自動荷役設備(ソフトウェア)を納入した実績を持つ企業はどのような状況であろうか？

コンテナターミナル全体を動かすシステムTOS、自動荷役設備を制御するECSの状況は下記のとおりである。

TOSの分野ではNavisが圧倒的な世界シェアを保有し、現在、「Navis N4」が主流となりつつある。韓国では、兄

弟が別々に立ち上げたベンチャー企業Total Soft BankおよびCyberLogitecの2社が、Navisよりも低価格で釜山新港に納入している。日本企業では三井造船が手掛けている。

ECSの分野では、ABBが圧倒的な世界シェアを保有している。日本企業では、東芝三菱電機産業システム(TMEIC)の自動制御システムが米国のAPM Terminal(現在はVIG Terminal)やGlobal Terminal等で導入されている。

このように、世界的なシェアが高い企業が市場を寡占している一方で、日本企業等がわずかながらもシェアを保有しているのが現状である。

5.3 自動化コンテナターミナル市場へ民間企業が参入するための経営環境

今後、自動化コンテナターミナルを整備する場合、サプライヤーの動向はどうであろうか？

ZPMCの事例はすでに述べたように、中国政府やSIPGの強力な後ろ盾となるとともに、廈門港、青島港、洋山深水港というマーケットを提供し、最先端技術の開発を進めたといえよう。

新たな展開期に予定されているシンガポールの自動化コンテナターミナルの事例を見てみよう。

シンガポールのPSAでは、自動荷役設備の技術的な信頼性を検証しながら一方で低価格で調達するための試みが行われている。

既述のように、PSAがPasir Panjang TerminalにOHBCを導入した際に、AGVによる自動荷役の導入を試みたが経済的技術的理由により導入を断念した。シンガポール政府は、Pasir Panjangのコンテナターミナルに引き続き、マレーシアとの国境近くのTuasで、大規模な自動化コンテナターミナルを整備中であり、後述するように、2021年から、順次、供用する予定である。自動化コンテナターミナルの導入にあたり、過去にAGVの導入を断念した教訓を生かし、PSAは2012年に次世代AGVの開発のため、AGVのプロトタイプ製作をSingapore Technologies Kinetics LimitedおよびZPMCと、2014年には荷役サプライヤーVDLと契約している。さらに、2016年には、既存の8台のAGVに加えて22台の製作を契約し、合計30台でテスト走行を繰り返すとしている(PSA(2016))。22台のAGVを製作するサプライヤーは、Kalmarが18台、Gaussin Manugistiqueが2台、豊田自動織機が2台で、各サプライヤーの品質差をチェックできるようになっている。この間、2015年にはAGVのNavigation Systemとして、KalmarのAutoShuttleの技術を導入したほか、STSの

自動化についてもテスト中であるとしている (PSA Annual Report 2016)。

シンガポール政府の機関であるシンガポール海事港湾庁 (MPA : Maritime and Port Authority of Singapore) は、2016年4月に、「インフラ担当大臣と運輸大臣により、Tuas のコンテナターミナル整備事業のフェーズ 1 に着工した」と発表した MPA(2016) 。MPA によると、フェーズ 1 は大水深の 20 バースを備え、埋め立て面積 294ha のコンテナターミナルで、取扱能力は 2,000 万 TEU となる。最終的には、Tuas コンテナターミナルは 2040 年までに全体が完成し、取扱能力は 6,500 万 TEU となる。PSA は、フェーズ 1 の供用を 2021 年から順次できるとしている。シンガポール港のコンテナ取扱量は 3,366 万 6,600TEU (2017 年速報値) であるから、Tuas フェーズ 1 の完成により現在の 1.5 倍、最終的には 3 倍の取り扱いを目指すことになる。この Tuas コンテナターミナルで自動荷役の導入が予定されている。

Tuas フェーズ 1 が完成すると、世界に例を見ない 22 バースの大規模な自動化コンテナターミナルが誕生する。2016年6月および2017年4月に開催された、PTI 主催の国際会議でも「Mega Automated Container Terminal」として注目され、自動荷役設備を手掛ける民間企業にとって一大商機であることから、PSA に対する各社の激しい売り込み攻勢が見受けられた。AGV を例にとると、Pasir Panjang で行われている実証試験に自社の製品を納入することは、次の商機つながることになる見方からすれば、22 台中 18 台を納入した Kalmar が優勢で、各々 2 台の納入となった Gaussin Manugistique と豊田自動織機も商機があるといえる一方で、かつて AGV のプロトタイプを納入した実績がありながら契約をとれなかった VDL は今後の営業戦略をどのように打ち出すかが注目される。

このように、シンガポールでは、ターミナルオペレータの PSA はシンガポール海事港湾庁 MPA とともに、Tuas の自動化コンテナターミナルの実現に向けて、自動荷役設備のサプライヤーと積極的に技術開発を進めてきている一方で、Tuas の市場規模が大きいため、民間企業に技術開発を促進させる結果ともなっている。

以上をまとめると、サプライヤーが自動化コンテナターミナルの市場へ参入するためには、以下の環境を整えることが必要であろう。

- ① 民間企業との共同開発によるコスト・リスクの低減
自動荷役技術の導入はターミナルオペレータに莫大な初期投資を必要とさせるとともに、稼働時に初期トラブ

ル対応が多く発生し稼働率の低下につながるリスクがあるため、ターミナルオペレータは荷役機械サプライヤーと共同で技術開発や実証試験をすすめ、初期投資額の低減や初期トラブルを減らす努力をしている。

② 市場の明確化

オーストラリア、中国の事例は国内の自動化コンテナターミナルの市場が明確に示されていたこと、シンガポールの事例は数年後の市場が明確に示されていることから、技術開発を進めるサプライヤーにとっても人材資金等の投資をする経営判断ができる。

③ ローンチカスタマー (Launch Customer) の存在

ZPMC の事例をみると、ZPMC が荷役設備サプライヤーから自動荷役設備の総合企業に急成長した背景には、中国政府や SIPG が ZPMC の技術開発を強力に支援するとともに、厦門港、青島港、洋山深水港という市場を提供するローンチカスタマーの役割を担ったことがある。PSA の事例をみると、新規の大規模な自動化コンテナターミナルという市場を明示するとともに、技術開発を進める資金を支出したシンガポール海事港湾庁 (MPA) がローンチカスタマーの役割を担った。

自動化コンテナターミナル市場へ民間企業がサプライヤーとして参加するためには、共同開発、市場の明確化と並び、民間企業の強力な後ろ盾となるローンチカスタマーが必要である。

日本企業の中には、世界シェアの中ですでにシェアを持たず、もともと技術力がない、または現在は技術力を失った企業もあるが、今でも競争優位性を失わずにシェアを保有している企業も健在である。わが国が日本企業の技術力を高め、日本企業に自動化コンテナターミナルの市場へ本格的に参入する政策を進めるためには、産官学が一体となって上記の 3 環境を整える必要があろう。

6. 動向分析の結果の総括とわが国に自動化コンテナターミナルを導入するうえで必要となる視点

この章では、海外の自動化コンテナターミナルの動向分析の結果の総括と、かりにわが国のコンテナターミナルの荷役を自動化する場合、海外の動向分析を踏まえた時の必要となる視点を示す。

以下は、海外の自動化コンテナターミナルの動向分析を行った結果として得られた、本報告の結論である。

6.1 海外の自動化コンテナターミナルの動向分析の結果の総括

初めに、自動化コンテナターミナルの現況分析として、下記を示した。

- ① 現在稼働中は約 50 港であり、今後も増加する傾向にあること
- ② 普及の要因として自動化による生産性向上や労働環境の改善のほか、安全に関する EU の基準類がグローバルスタンダード化してきていること
- ③ 採算性（20,000TEU のコンテナ船を 48 時間以内に荷役完了を目標）が明確になっていること
- ④ 自動荷役については技術的に確立し、自動化技術のデファクトスタンダード化が進行していること
- ⑤ 世界で港湾荷役設備の自動荷役のポテンシャルを持つ港湾は約 100 港であること
- ⑥ 導入のためのデファクトステップが確立していること

つぎに、投資環境の変化として、下記を示した。

- ① 今や、自動化は当たり前で、むしろ、様々な手段によって、自動化コンテナターミナル間の生産性競争へ突入していること
- ② 船社にとってターミナルコストの負担増が経営上の課題となっていること
- ③ 海運アライアンスの再編により、コンテナ船の寄港地やコンテナターミナルの再編の動きがあり、自動化コンテナターミナル間の生産性競争に拍車をかけていること
- ④ 自動荷役設備のグローバル企業である欧米 2 強に中国企業の参入したこと
- ⑤ 投資先が二極分化し、欧米市場における既存ターミナルの改良の動きと、新たな市場を求めてアジア・アフリカ・中南米への投資の動きがでてきていること
- ⑥ 港湾労働者のスキルアップ（仮想現実 VR、ゲーミフィケーション Gamification 利用）が重要視されていること

3 つ目に、最先端技術の保有企業による寡占状態であることを示した。特に、注目すべき事実として、中国の ZPMC が欧米 2 大企業グループに総合力で肩を並べたこと、ZPMC の成長の背景には強力なローンチカスタマーの存在があることを示した。

一方で、日本企業が自動化コンテナターミナルの市場へ本格的に参入するためには、初期投資額が大きく初期

トラブル等による稼働率の低下を防ぐため、産官学で一体的に共同開発を進めコスト・リスクを低減すること、市場を明確化すること、ローンチカスタマーを設けることの必要性を示した。

6.2 わが国に自動化コンテナターミナルを導入するうえで必要となる視点

最後に、上記の動向分析を、わが国のコンテナターミナルの荷役を自動化する場合に反映し、本報告の結論として、わが国に自動化コンテナターミナルを導入するうえで必要となる視点を記述する。

まず、わが国にとって認識しないといけないことは、わが国は海外に比べ、自動荷役に関する情報や動向分析、さらには企業における技術開発等、全般にわたり、取り組みが遅れている事実である。

自動化コンテナターミナルの議論を進めるためには、この重要な認識の上に立って、下記の意味形成を進めることが必要である。

- ① 自動荷役導入の是非および意思決定
- ② 労働安全性の確保と労働人口減への対応
- ③ 自動化コンテナターミナルの取扱能力の活用策
- ④ 20,000TEU 超の大型コンテナ船の就航の可能性と就航する場合の対応策
- ⑤ 海運アライアンスの再編（ONE：Ocean Network Express 2018 年 4 月スタート）
- ⑥ 日本でポテンシャルがある港湾は 4 港（京浜、伊勢湾、阪神、北部九州）
（参考、2015 年実績：京浜港 752 万 TEU、伊勢湾 283 万 TEU、阪神港 493 万 TEU、北部九州 150 万 TEU）

つぎに、わが国に自動化コンテナターミナルを導入すると仮定すれば、以下のプロセスにより具体的な検討が必要である。

① 自動化コンテナターミナルの市場規模の把握

わが国のコンテナターミナルを自動化する場合、自動荷役設備についてどの程度の市場規模があるか、把握する必要がある。

自動荷役設備の技術を保有する国内外の企業にとって、市場規模は技術開発を含め投資する価値があるか経営判断するうえで重要な指標である。

② 日本企業が保有する自動荷役の技術力の育成と海外企業の活用

日本企業の中には、世界シェアの中で今でも競争優位性を失わずにシェアを保有している企業がいる。

一方、海外には、自動化コンテナターミナルに関し、自動荷役設備のハードウェアのみならず、システム/エミュレーション分野、コンサルティング/シミュレーション分野のソフトウェアに関し、高度なノウハウと実績を持つ複数の企業（サプライヤー）が存在し、これらの企業は現在も多くの実績を積んでいる。実績、世界シェアでみても自動荷役設備の分野で日本企業は海外企業に比べ相当な差がある。わが国のコンテナターミナルや海外のコンテナターミナルをターゲットにした自動荷役設備の導入の検討にあたり、日本企業が保有する技術力の育成とともに、日本企業の育成の観点等から海外企業の技術力の活用策について検討する必要がある。

③ 日本企業の参入を促す、強力なローンチカスタマー

日本企業に技術開発を促すためには、企業を強力に支援する制度・資金とともに販売市場を提供する必要がある。このためには、ZPMC、PSAの事例にみられるように、日本企業の背中を押す強力なローンチカスタマーの存在が必要である。

④ 新設コンテナターミナル（Green Terminal）の自動化はターミナル全体を対象に検討

新規のコンテナターミナル（いわゆる Green Terminal）に自動荷役を導入する場合は、個々の自動荷役設備の組み合わせとして検討する前に、まず、自動化システム全体としてとらえて検討する必要がある。

筆者が参加した国際会議で、参加者の共通意見として聞こえてくる内容は、自動荷役設備を導入したコンテナターミナルが能力を最大限に発揮するためには在来荷役型のターミナルとレイアウトを変える必要がある点である。たとえば、自動化コンテナターミナルのパーティカルタイプの場合、スタッキングエリアのコンテナブロックラインの長さは岸壁法線よりの奥行として 500m~600m が最も効率が高くなるため、在来荷役型のコンテナターミナル（500m×500m）よりも奥行きを広く取るほうが良い。また、自動化コンテナターミナルの処理能力はブロックライン、STS、AGV、A-ShC などの数によって変えることができるため、需要に応じてブロックライン等を増設し、処理能力を増加させることが可能である。したがって、需要が少ない段階では、スタッキングエリアがバース長よりも短い自動化コンテナターミナルのケースもある

（例：Lázaro Cárdenas）。

自動化コンテナターミナルの能力を最大限引き出すためには、ハード・ソフトが一体となった自動化システムとして、ターミナル全体を対象に検討する必要がある。この点は、わが国の新幹線は車両や運行システム等が一体となったインフラであることと共通点が多い。

個々の自動荷役設備の導入に関しては、Brown Terminal と同様の考え方でよいだろう。

⑤ 既存コンテナターミナル（Brown Terminal）の自動化

自動荷役設備の導入は新規コンテナターミナルだけではなく、既存コンテナターミナル（Brown Terminal）にも、段階的に導入し、安全性や生産性を向上することができる。

パナマの Manzanillo Terminal では、スタッキングエリア内の RTG を ASC に取り換えて自動化し、安全性や生産性の向上をさせている事例である（本報告書末の参考写真-2）。Manzanillo Terminal はパナマ運河のカリブ海側に立地するコンテナターミナルであり、コンテナヤードは在来荷役型の RTG で稼働していた。狭いコンテナヤードで生産性を上げるとともに、労働安全性を改善するため、既存の RTG の一部を ASC に置き換えて自動化を実現した。筆者が調査に訪問した 2016 年 9 月の段階で、既存の RTG のコンテナブロックラインに並行して ASC のコンテナブロックラインが設置されていた。コンテナヤードの全体の面積のうち、ASC で自動化した面積の割合は 15% であり、在来荷役型・自動荷役型のすべての荷役設備の中で自動荷役設備の割合は 8% に過ぎないが、コンテナ取扱量は全体の 25% を記録している。Manzanillo ターミナルのターミナルオペレータ MIT で Business Analyst を務める Larissa Barrios 氏は、「自動化により生産性が向上している。パナマ運河第 3 閘門の開通により、今後、コンテナの取り扱い需要が見込まれるため、在来荷役型の RTG を、順次、ASC に切り替えていく方針である。」と述べている。

同じ敷地内で、在来荷役型 RTG を稼働させながら ASC による自動化の導入は、コンテナヤードの一部休止に伴う混雑や事故率の上昇を招く。このため、自動化にあたって、MIT は ABB の全面的な協力を得て、コンテナターミナルの休止や混雑を最小限に抑えながら自動化するステップを進めている。

この事例は、在来荷役型のコンテナターミナルの自動化を進めるにあたり、参考になろう。

⑥ コンテナターミナルの再編

海運アライアンスの再編は、ターミナルオペレータの

経営環境を大きく変える可能性がある。わが国の場合、コンテナ取扱量の多い4港(京浜, 伊勢湾, 阪神, 北部九州)にとって, 重要な課題である。

⑦ 港湾労働の質の変化に対応した人材育成

海外の港湾労働者の訓練方法が進化している。わが国でも, 自動荷役を導入する場合, 港湾労働の質の変化に対応した人材育成が必要である。

⑧ 安全規制など諸制度の整備

安全規制でグローバルスタンダードとなっている EU の諸制度を例に, 自動化コンテナターミナルの普及にあたり, 今後の展開を考えておく必要がある。

⑨ 自然環境保全

ゼロエミッション等, 自動荷役設備の導入にあわせ, 電動化等により自然環境保全を進める必要がある。

⑩ 自動化コンテナターミナルのインフラ輸出

自動化コンテナターミナルの分野で, わが国には優れた技術・製品・ノウハウを保有しているサプライヤーが存在する。このようなサプライヤーが世界市場で活躍しさらに技術力を向上できるように, 中国, シンガポールの海外事例を参考にしながら, 我が国全体で, これらのサプライヤーを育成していく必要がある。

謝辞

本報告は, 筆者が港湾空港技術研究所に在籍中およびその後, 世界のほぼすべての自動化コンテナターミナルの現地調査, 自動荷役設備の企業訪問, さらにロンドンで開催された自動化コンテナターミナルの国際会議等を通じて, 技術内容, 自動荷役の長短, 導入に至った背景等の情報を収集するとともに, これらの情報をもとに動向を分析し, 取りまとめたものである。本報告は, 自動化コンテナターミナルに関する最新情報に基づく, わが国初の動向分析となった。

本報告をまとめることができたのは, 調査の仲介をしていただいた在外日本大使館や日本企業, 日本の港湾管理者, 国土交通省, さらに調査の機会を提供していただいた港湾空港技術研究所および一般社団法人港湾荷役機械システム協会のおかげである。各位の支えがなければこのような成果は得られなかった。各位に紙面を借りて心から謝辞を申し上げる。

参考文献

- 一ノ瀬政男(2010), 海外におけるコンテナターミナル自動化の進展, OEDI QUATERLY 80, 2010, Vol. 1, 2, OEDI
市村欣也(2014), 重量物運搬機械及び物流システム製品, 三井造船技報No. 212, 2014-7
高橋浩二(2016a), 世界の港湾の荷役状況 : 釜山新港の自動化コンテナターミナル, 第61巻第3号, 一般社団法人港湾荷役機械システム協会, pp312-319
高橋浩二(2016b), 世界の港湾の荷役状況 : Terminal Automation & Training : The C-Level Networking Conferenceにおける自動化コンテナターミナルの議論の方向, 第61巻第4号, 一般社団法人港湾荷役機械システム協会, pp410-421
高橋浩二(2016c), 世界の港湾の荷役状況 : アフリカ大陸の東西に立地するトランシップ港湾, 第61巻第6号, 一般社団法人港湾荷役機械システム協会, pp604-615
高橋浩二(2017a), パナマ運河と共存共栄を狙う港湾(その1) ~バルボア港(太平洋)とコロロン港(大西洋カリブ海)~, 第62巻第1号, 一般社団法人港湾荷役機械システム協会, pp112-123
高橋浩二(2017b), パナマ運河と共存共栄を狙う港湾(その2) ~バルボア港(太平洋)とコロロン港(大西洋カリブ海)~, 第62巻第2号, 一般社団法人港湾荷役機械システム協会, pp204-208

- 高橋浩二 (2017c), 世界の港湾の荷役状況における自動荷役コンテナターミナルの議論の方向(その1), 第62巻第3号, 一般社団法人港湾荷役機械システム協会, pp312-320
- 高橋浩二 (2017d), 世界の港湾の荷役状況における自動荷役コンテナターミナルの議論の方向(その2), 第62巻第4号, 一般社団法人港湾荷役機械システム協会, pp404-410
- 高橋浩二 (2017e), 世界の港湾の荷役状況(COSCOが経営するギリシャ・ピレウス港)(その1), 第62巻第6号, 一般社団法人港湾荷役機械システム協会, pp604-609
- 高橋浩二 (2018), 世界の港湾の荷役状況(COSCOが経営するギリシャ・ピレウス港)(その2), 第63巻第1号, 一般社団法人港湾荷役機械システム協会
- 高橋浩二, 浦辺信一, 福田功, (2013), 我が国の地理的特性に着目した港湾の配置に関する一考察, 日本海洋政策学会誌, 第3号, pp. 52-69, 2013.
- 特許情報プラットフォーム: 独立行政法人 工業所有権情報・研修館
- 豊田自動織機, 飛島コンテナ埠頭, 三菱重工マシナリーテクノロジー(2014), 自動化コンテナターミナルシステム, 経済産業省, 公共・特殊環境部門「優秀賞」, GTH Robot Award
- Ana María Martín-Soberón, Arturo Monfort, Rafael Sapiña, Noemí Monterde, David Caldach, Automation in Port Container Terminals, Procedia - Social and Behavioral Sciences, XI Congreso de Ingenieria del Transporte (CIT 2014)
- Avery, Paul(2015), The Automated Terminal Equipment Market, Editorial Director WorldCargo News, Navis World, 2015
- Blaiklock, Paul(2017), Automated Stacking Cranes in Port Terminals, Edition 76, Winter 2017, PORTTECHNOLOGY, 2017
- Harold J. Daggett(2017), <https://ilaunion.org/ila-president-harold-daggett-says-union-will-protect-local-agreements-and-oppose-fully-automated-terminals/>
- Longshoreshippingnews (2013)
<http://www.longshoreshippingnews.com/2013/03/port-of-tacoma-shut-down-again-after-second-longshore-worker-death-in-a-month/>
- Longshoreshippingnews (2018)
<http://www.longshoreshippingnews.com/2018/01/1ongshore-worker-dies-at-marine-terminal-in-san-diego/>
- MPA(2016), Phase 1 of Tuas Terminal Development Begins, Press Release, Maritime and Port Authority of Singapore, 29 April 2016
- PSA (2016), PSA INVESTS IN 22 NEW AUTOMATED GUIDED VEHICLES AS PART OF FUTURE PORT DEVELOPMENT, News Release, PSA Singapore, 20 June 2016
<https://www.globalpsa.com/assets/uploads/nr160620.pdf#search=%27PSA+new+release+agv%27>
- Sebastian Sterzik, Herbert Kopfer, Advantages of Decoupling Containers and Vehicles at Customer Locations, Logistics Management pp 301-312, 2014
- Sisson, Mark(2016), Automated Container Terminal Planning The Fundamentals, Special Edition, Top 30 Paper 2014-2016, PORTTECHNOLOGY, 2016
- Technavio(2017), Global Automated Container Terminal Market 2017-2021, 2017
- PMA, <http://www.pmanet.org/the-ilwu-workforce>

参考1 自動荷役設備の特性

1. AGV (Automated Guided Vehicle) と Automated ShC (Shuttle Carrier, Straddle Carrier) の特性の比較

ShC は AGV に比べて高速走行が可能であるとともに、Decoupling 機能に優れている。

走行速度は、一般的に、ShC はコンテナを低い位置で抱えるため重心が低く、安定しているため、35km/h (TraPac の事例) であるのに対し、AGV は動力電源機器の上部にコンテナを積載するため重心が高く、不安定なため 21.6km/h (Konecranes) である。

Decoupling とは、あるものと別のあるものが分離して運動しなくなることを指す用語であり、岸壁荷役システムと、岸壁とヤード間の水平輸送システムとの分離することをさす。ShC はコンテナを受け取りレーンで受け取り、受け渡しレーンまで運んだら仮置きすれば、すぐに次の作業に入ることができる。

「AutoShuttle」は Kalmar の登録商標であり、分類上は Shuttle Carrier である。

一方、AGV は自らコンテナの把持および解放ができないため、ASC または岸壁クレーン STS がコンテナを取り上げない限り、受け渡しレーンで待機せざるを得ない。AGV の欠点として、この待機による時間ロスを前提に ASC や STS の荷役効率を上げるためには多数の AGV を投入する必要がある。

Lift-On Lift-Off AGV (L-AGV) は、従来の AGV には付属していなかった仮置き機能をつけたタイプの AGV である。従来の AGV の弱点を補うことにより、L-AGV の機能的に A-ShC と肩を並べるようになった。

2. RTG (Rubber Tired Gantry Crane) と RMG (Rail Mounted Gantry Crane) との特性の比較

ヤード内でコンテナを整理するために使用するトランスファークレーンで、タイヤでどこでも自由に動く RTG (Rubber Tired Gantry Crane) と、レール上を動く RMG (Rail Mounted Gantry Crane) がある。通常、ターミナルは、ヤード内のコンテナブロックに 2 基ずつ設置することが標準仕様となっている。

RTG は、コンテナブロック間を移動して稼働率を上げることができるが、RMG は移動できる範囲がレール上に限られるためブロック間移動はできない。RTG は RMG よりもブロック間移動に優れているが、現実的には自動化コンテナターミナルにおいてブロック間移動は、移動時間のロスにつながるるとともに、タイヤ移動の特性上、位置精度に高度な管理が必要になる。一方で、RTG はブロック間を移動できるため、荷役のピーク時にブロックをま

たいで投入することによりブロック間の処理能力を平均化することが可能となるメリットを有している。

自動化した RTG および RMG は ARTG (Automated Rubber Tired Gantry Crane) および ARMG (Automated Rail Mounted Gantry Crane) と呼ばれる。ARMG は ASC と同じ機能をもつ製品である。

3. End-Loading ASC と Side-Loading ASC

ASC (Automatic Stacking Crane) には End-Loading タイプと Side-Loading タイプの 2 種類ある。

End-Loading タイプは、コンテナの受け渡しを、コンテナブロックの長手方向の両端 (海側と陸側) で荷役を行うもので、海側の水平輸送システムは AGV (Automated Guided Vehicle)、Automated ShC (Shuttle Carrier, Straddle Carrier)、有人シャーシ (Chassis) で、陸側は有人シャーシで荷役を行う。

一方、Side-Loading タイプは、コンテナの受け渡しをコンテナブロックの両側面で行う荷役方式であり、受け渡しは AGV または有人シャーシで行う。

なお、RMG のうち自動化されている ARTM (Automated RMG) は ASC と同等である。

世界の自動化コンテナターミナルにおいては、自動荷役設備の組み合わせパターンが下記の 3 パターンに定型化している。

- ①End-Loading ASC と AGV
- ②End-Loading ASC と Shuttle Carrier (Straddle Carrier)
- ③Side-Loading ASC と Chassis

4. AutoStrad

「AutoStrad」は、Kalmar の登録商標である。

もともと、オーストラリアの Patrick 社がシドニー大学と共同開発した自動荷役設備で、ShC と ASC の両者の機能を兼ねている。現在、Patrick 社は特許権を Kalmar 社に売却したため、Kalmar 社が AutoStrad の特許権を所有し、製造販売している。

AutoStrad の長所は、水平輸送とスタッキングエリア間におけるコンテナの受け渡しをする必要がないため、効率的な荷役が可能となるが、一方で、背丈の制限から、スタッキングエリアのコンテナ段積みの制約が発生する。Kalmar では、最大でも 3 段~4 段までの多段積みは可能としている。

5. ARTG

ARTG (Automated Rubber Tired Gantry Crane) は自動化

された RTG である。ゴム製のタイヤを使用することから、位置精度に高度な管理が必要になるため、自動化コンテナターミナルでの実績は、名古屋港の TCB ターミナルの事例のみであった。

近年、Konecranes 社が技術開発を進め、ARTG を使用した自動化システムをインドネシアで 1 件稼働させるとともに、2 件目の商談を成立させている。

6. ターミナルレイアウト

自動化コンテナターミナルには、岸壁法線に対してコンテナブロックの積み上げ方向が平行なパラレル (Parallel) タイプと、垂直なバーティカル (Vertical) タイプがある。

両者の特徴の差は、奥行き、水平輸送距離、外部トレーラーの走行距離、安全性に現れる。

パラレルタイプは荷役効率がターミナルの奥行に左右されにくいことに対し、バーティカルタイプは奥行きが必要となる。荷役機械サプライヤーやシミュレーション会社によれば、一般的に、コンテナターミナルの岸壁法線からの奥行き 500m~600m (コンテナブロックラインの長さ 350m) が最も効率が高くなると述べている。このため、奥行きの長さがタイプの選択に大きく影響する。たとえば、米国ロサンゼルス港の TraPac では、自動化の第 1 期工事区域は岸壁法線からの奥行きが 200m~300m と狭いためパラレルタイプとしたが、第 2 期工事区域は岸壁法線からの奥行きを 500m 以上確保できるためバーティカルタイプを採用している。

また、バーティカルタイプは、原則、スタッキングエリア内に有人トレーラー等は入らない設計のため、岸壁荷役と陸側荷役が完全に分離している。一方、パラレルタイプは、有人トレーラーがスタッキングエリア内に入ってコンテナの荷役を行うため、岸壁荷役とスタッキングエリア間の水平輸送距離と、外部トレーラーがターミナルゲートとスタッキングエリア間を走行する距離は、バーティカルタイプに比べて長い (参考図-1 参照)。

バーティカルタイプは、走行距離が短いため、水平輸送用のシャーシおよびトレーラーの数を少なくすることができる。

スタッキングエリア内の荷役のための ASC や ARTG の動線の観点から評価すると、バーティカルタイプは、海側および陸側の ASC の 2 機を必要とする。パラレルタイプは荷役効率に応じて 1 機以上の投入機数を決めることが可能である。

安全性の観点では、パラレルタイプは有人トレーラーと ASC (Side-Loading タイプの Automatic Stacking Crane)

が混在するため人身事故のリスクがある。

韓国釜山新港の BNCT 代表理事である崔英培氏は、「自動化コンテナターミナルのターミナルレイアウトの決定に際し、パラレルタイプおよびバーティカルタイプを比較した結果、走行距離および安全性の利点が優れていると評価し、アジアで初めてバーティカルタイプを採用した。」と述べているのに対し、パラレルタイプの自動化コンテナターミナルを採用した PNC 孫炯根氏、HJNC 常務の姜富馨氏、HPNT の Moon In-WOO 氏は、各氏ともに「パラレルタイプはバーティカルに比べ多くのシャーシおよびトレーラーが必要になる。安全性の面では、有人トレーラーがヤード内を走行することによる運転者の人身事故や、コンテナとシャーシの不完全な分離が原因で荷揚げ作業時に発生するシャーシ釣り上げ事故など、有人トレーラーのドライバーが巻き込まれる労働災害が発生している。」と述べている。

なお、名古屋港 TCB の自動化コンテナターミナルのレイアウトは、奥行き 500m でパラレルタイプを採用し、コンテナブロックラインの長さは 250m~300m と他のターミナルよりも短い特徴がある。また、自動化の対象は、スタッキングエリア内の RTG と水平輸送用の AGV とはコンテナ荷役を完全自動化されているが、RTG と外部トレーラーとの受け渡しは遠隔操作で行っている。したがって、スタッキングエリア内で、水平輸送用の AGV と、陸側の外部トレーラーの動線が交錯するため、遮断機を設けて交通整理し、動線を完全に分離している。TCB を運営する飛島コンテナふ頭株式会社代表取締役社長の加藤真人氏は、「動線を完全分離することにより安全性は確保されている。」と述べている。

7. 在来荷役型コンテナターミナルの自動化事例

パナマの Manzanillo Terminal の写真を参考写真-1 に掲載した。

Manzanillo Terminal は、既存の在来荷役型 RTG を、順次、ASC に置き換えて自動化を進めている事例である。

自動システムサプライヤーである ABB の協力を得て、コンテナターミナルを休止することなく自動化を進めている。

8. STS (Ship-To-Shore Crane)

わが国では「ガントリークレーン」と呼ぶ岸壁荷役用の荷役機械である。ガントリークレーン (Gantry Crane) は RTG、RMG にも使用される用語であるため、本報告では「STS」で表現を統一した。STS は、別名、QC (Quay Crane) とも呼ばれる。

参考2 調査方法, 調査項目, 訪問日, 国際会議参加者リスト

1. 調査方法

世界の自動化コンテナターミナルの動向を分析するため、ターミナルオペレータ、港湾管理者、民間企業等と接触し、ヒアリング調査を実施した。訪問のアポ取りを、各国の在外日本大使館、民間企業、日本の港湾管理者に依頼した。ターミナルオペレータおよび港湾管理者を対象としたヒアリング調査の際、特に、在外日本大使館のアタッシェの方々や民間企業の方々には、訪問先に随行していただくなど、多くの便宜供与を受けた。

自動荷役設備を開発している民間企業との接触は、民間企業を直接訪問する以外に、国際会議の場を活用した。筆者が活用した国際会議は、民間の港湾専門情報発信会社 Port Technology International (PTI) 社主催の自動化コンテナターミナルの国際会議(Container Terminal Automation Conference) である。

この国際会議は民間企業の C-Class (CEO, COO など) が集まる会議で、第1回会議が2016年6月に、第2回会議が2017年4月に、いずれもロンドンで開催され、筆者はいずれにも参加した。筆者がこの会議の参加に至る過程には、フィンランドの荷役機械サプライヤーである Kalmar 本社を2015年12月に訪問し、Dr. Antti Kaunonen 上級副社長に面会した際に、「個別に企業訪問するよりもまずはネットワーク作りからの方が良い」とアドバイスを受けたことが背景にある。計2回の国際会議を通じて、自動荷役設備に携わる民間企業の C-Class 延べ200人と接触し、意見交換できた。

(なお、PTI 主催の国際会議に日本から参加した者は筆者一人であった。会議の詳細は、筆者著の一般社団法人港湾荷役機械システム協会機関誌「港湾荷役」第61巻第4号、第62巻第3号、第62巻第4号をご覧ください。)

(PTI 主催の第3回国際会議が2018年3月にロンドンで開催される。筆者は第1回、第2回に引き続き参加予定である。)

2. 調査項目

参考表-1 に掲載した調査項目を訪問日にヒアリング調査した。

3. 調査訪問日

参考表-2 に調査訪問日一覧を掲載した。

4. 国際会議参加者リスト

参考表-3 および参考表-4 に PTI 主催の国際会議 (第1回2016年6月8日、第2回2017年4月19日、20日) の参加者リストを掲載した。

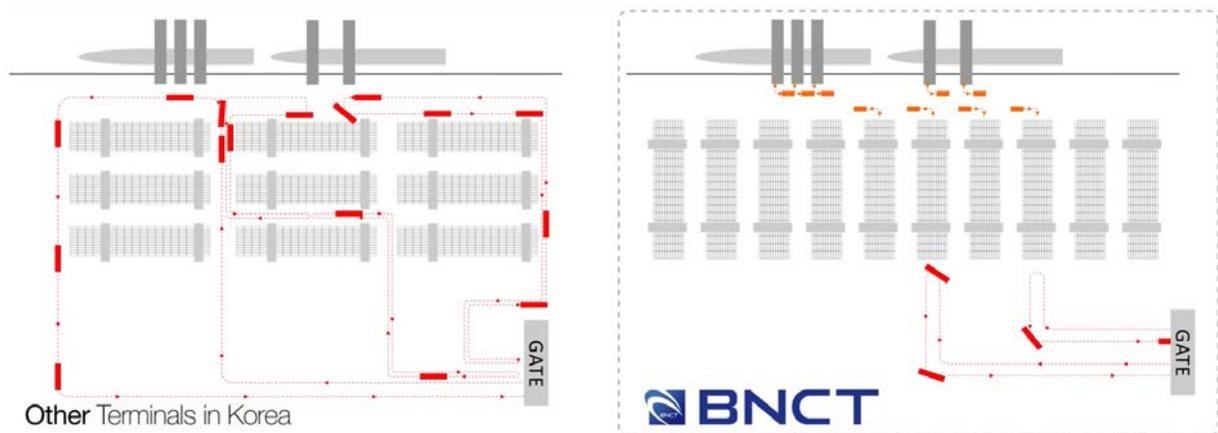
筆者は、第1回に港湾空港技術研究所 (Port and Airport Research Institute) の立場で、第2回に一般社団法人港湾機械荷役システム協会 (Japan Association of Cargo-handling Machinery Systems) の依頼出張で参加した。



参考写真-1 メキシコの自動化コンテナターミナル Lázaro Cárdenas Terminal
(出典：Google map を筆者が加工)



参考写真-2 在来荷役型コンテナターミナルを、順次、自動化している Manzanillo Terminal
自動化した ASC（中央）と在来型 RTG（右）が並走している。（出典：ABB）



参考図-1 ターミナルレイアウトの動線の相違（出典：BNCT）

左が平行タイプで、右がパーティカルタイプである。パーティカルタイプは、シャーシ（トレーラー）の走行距離が短いため、少ない（トレーラー）台数で稼働できる。AGVの場合も同様に、パーティカルタイプは台数を少なくできる。労働災害の観点では、水平輸送が在来荷役型（有人）の場合、スタッキングエリア内に有人シャーシ（トレーラー）が混入しないため、安全性が高い。

参考表-1 調査項目

1. 対象：すでに自動化を導入している自動化コンテナターミナルのターミナルオペレータ・港湾管理者

- ①自動荷役設備の導入に至る経過
- ②自動化の長所短所
- ③効率性
- ④港湾労働組合との調整
- ⑤労働環境の変化
- ⑥安全性
- ⑦採算性（自動荷役設備の投資効果）
- ⑧生産性向上のための戦略 等

2. 対象：在来荷役型コンテナターミナルのターミナルオペレータ・港湾管理者

- ①在来荷役型コンテナターミナルの立場から、自動荷役設備の導入に対する現在の評価や、将来的な導入の可能性の有無
- ②自動化コンテナターミナルへの対抗戦略
- ③自動荷役設備を導入する場合の評価対象
- ④港湾労働組合、港湾労働者の自動荷役設備の導入に対する意見・反応 等

3. 対象：自動荷役設備の技術開発を進めている民間企業、国際会議参加した民間企業

- ①自動化コンテナターミナルのマーケット情報
- ②自動化技術の開発レベル、企業間連携
- ③自動荷役設備の導入のためのステップ
- ④AI, IoT, 自動車の自動運転などの新しい技術との融合 等

PTI の国際会議の内容は最新情報のプレゼンテーションの場であったことから、世界のマーケット情報や技術情報に関し、最新の情報を入手することができた。

参考表-2 調査訪問日

調査の対象は、自動化コンテナターミナルのターミナルオペレータ、港湾管理者、官公庁、民間企業等であり、訪問日の一覧を下記に示す。

在来荷役型コンテナターミナルに関しても、自動化の可能性や自動荷役施設に対する評価を調査するために訪問している。

(1) 自動化コンテナターミナル

a. ターミナルオペレータ

No.	国/地域	港湾	ターミナル	ターミナルオペレータ	訪問日
1	日本	名古屋	飛鳥南	TCB	2016年2月24日ほか
2	Australia	Brisbane	Patrick	Patrick	2015年9月18日
3	Australia	Brisbane	BCT	HPH	2015年9月18日
4	Australia	Sidney	SICTL	HPH	2013年12月1日
5	Australia	Sidney	SICTL	Patrick	2013年12月1日
6	Australia	Brisbane	DPW	DPW	2015年9月18日
7	Australia	Melbourne	MNICT	VICT	2013年12月5日
8	Belgium	Antwerp	AGW	DPW	2016年1月12日
9	Germany	Hamburg	CTA,CTB	HHLA	2016年1月6日
10	Greece	Piraeus	Pier II,III	PCT	2017年2月13日
11	Indonesia	Tanjung Perak(Surabaya)	Teruk Lamong	PelindoIII	2016年8月1日,2日
12	Netherlands	Rotterdam	Delta,Euromax	ECT	2016年1月11日
13	Netherlands	Rotterdam	World Gateway(RWG)	DPW	2016年1月11日
14	Netherlands	Rotterdam	Maasvlakte II	APMT	2016年7月13日
15	Panama	Colón	Manzanillo	MIT	2016年9月27日
16	Singapore	Singapore	PSA Pasir Panjang	PSA	2014年10月21日
17	Spain	Algeciras	TTI	Hanjin	2014年9月10日
18	U.S.A.	Virginia	Portsmouth	Virginia International Terminals(VIT)	2016年10月19日
19	U.S.A.	Los Angeles	MOL	TraPac	2015年10月14日 2016年9月16日
20	UK	London	Thamesport	HPH	2015年12月18日
21	UK	London	London Gateway	DPW	2015年12月18日 2016年7月7日
22	中国	洋山深水	第4期	SIPG	2016年4月7日 2016年11月9日
23	香港	香港	HIT6-7	HIT	2015年9月22日
24	韓国	仁川新港	B	SNCT	2016年8月25日
25	韓国	仁川新港	A	HJIT	2016年8月25日
26	韓国	釜山新港	BNCT	BNCT(Macquarie)	2016年2月16日
27	韓国	釜山新港	PNC	DPW	2016年2月16日
28	韓国	釜山新港	HJNC	Hanjin	2016年2月16日
29	韓国	釜山新港	Hyundai	HMM	2016年2月17日

b. 港湾管理者

No.	国/地域	港湾管理者	訪問日
1	Australia	Sidney	2013年12月1日
2	Australia	Melbourne	2013年12月5日
3	Belgium	Antwerp	2016年1月12日
4	Greece	Piraeus	2017年2月23日
5	Netherlands	Rotterdam	2014年10月25日 2016年1月11日 2016年7月13日
6	U.S.A.	NYNJ	2015年10月22日
7	U.S.A.	Los Angeles	2016年9月15日
8	U.S.A.	Long Beach	2015年10月14日
9	中国	上海(SIPG)	2016年11月9日

c. 国際会議

No.	主催者	会議名	開催国,都市	開催年月日	参加日
1	Port Technology International(PTI)	Container Terminal Automation Conference Terminal Automation & Training The C-level Networking Conference	英国, ロンドン	2016年6月8日	(同左)
2	Port Technology International(PTI)	Container Terminal Automation Conference Beyond Moves Per Hour & The Future of Containerization	英国, ロンドン	2017年4月19日, 20日	(同左)

(注：国際会議の出席者リストを次ページ以降に掲載した。)

参考表-2 (続き) 調査訪問日

e. 官公庁

No.	国/地域	官庁名	訪問日
1	Panama	Panama Canal Authority	2016年9月26日

f. その他の施設

No.	国/地域	官庁名	訪問日
1	香港 (自動化空港貨物ターミナル)	HACTL:Hong Kong Air Cargo Terminals Limited	2015年9月21日
2	香港 (自動化空港貨物ターミナル)	CPCT:Cathay Pacific Cargo Terminal	2015年9月21日
3	Luxembourg (貨物ターミナル)	Luzair Aircargo Terminal	2015年12月19日

(2) 在来荷役型コンテナターミナル

a. ターミナルオペレータ

No.	国/地域	港湾	ターミナル	ターミナル オペレータ	訪問日
1	Bahamas	Freeport	Freeport Container	HPH	2014年6月5日
2	Belgium	Antwerp		IOC	2016年1月12日
3	Malta	Marsaxlokk		Malta Freeport	2015年12月21日
4	Mauritius	Mauritius		CHCL	2016年7月4日
5	Morocco	Tangier	New Tangier	APMT	2014年9月11日
6	Myanmar	Yangon		MITT(HPH)	2015年10月30日
7	Panama	Balboa		Panama Ports Co.	2016年9月26日
8	Spain	Las Palmas		OPCSA	2016年6月10日
9	UK	Felixstowe		HPH	2015年12月17日
10	Ukraine	Odessa		HPC-UKRAINA	2017年1月10日
11	中国	深圳	塩田	TICT	2015年9月22日

b. 港湾管理者

No.	国/地域	港湾管理者	訪問日
1	Australia	Freemantle	2015年9月19日
2	Belgium	Zeebrugge	2016年7月12日
3	Bulgaria	Varna	2017年2月3日
4	Cambodia	Phnom Penh	2015年11月2日 2016年4月28日
5	Cambodia	Sihanoukville	2015年11月3日 2016年4月26日
6	Canada	Vancouver(MPV)	2014年6月13日
7	Cyprus	Larnaca, Limassol	2016年1月8日
8	Estonia	Tallinn	2015年12月15日
9	Finland	Helsinki	2015年12月14日
10	France	Le Havre(HAROPA)	2016年1月14日
11	France	Marseilles(Marseille Fos)	2017年1月30日
12	Indonesia	Tanjung Priok	2013年11月29日 2016年8月1日、2日
13	Italy	Genoa	2015年5月28日
14	Italy	Gioia Tauro	2014年8月24日
15	Mauritius	Mauritius	2016年7月4日
16	Poland	Gdanisk	2014年10月31日
17	Rumania	Constanta	2017年1月13日
18	Spain	Las Palmas	2016年6月10日
19	Sri Lanka	Colombo	2015年2月27日
20	U.S.A.	Seattle	2014年6月12日 2015年10月16日
21	韓国	光陽	2016年6月22日
22	台湾	台中	2016年11月19日

参考表-3 PTI 主催 第1回国際会議 参加者リスト

2016年6月8日 Container Terminal Automation Conference

(注) 筆者は、港湾空港技術研究所(英語名: Port and Airport Research Institute)として参加した。

Name	Company	Title
Jeremy Chee	1-stop	General Manager - Strategy & Business Development
Michael Bouari	1-Stop Connections	CEO
Maarit Nystrom	ABB	Marketing
Uno Bryfors	ABB	Vice President, Crane Systems
Dr. Hanh D. Le-Griffin	Arcadis	Senior Programme Manager
Danny Gat	Ashdod Ports Company	Chief Logistic & Engineering Officer
Isaac Blumntal	Ashdod Ports Company	CEO
M. Ashkenazi	Ashdod Ports Company	ASSISTANT HEAD OF CONTAINER DEP.
Basma Khattab	Beirut Container Terminals Company	AUTOMATION MANAGER
Ibrahim Haidar	Beirut Container Terminals Company	Global IT and Systems Manager
Emile Hanna	Beirut Container Terminals Company	Assets Manager
Anton Bernaerd	Camco	Business Development Director
Jan Bossens	Camco	Founder / MD
Theofanis Sotirios	Center for Advanced Infrastructure and Technology (Greece)	Co-Director - Freight & Maritime Program
Simon Yang	Cosco UK	CEO
Andrew Bowen	DP World	Technical Director
Neil Davidson	Drewry	Senior Analyst
Rickey Childs	Eagle Marine	General Manager - Strategy & Business Development
Paul van Bennekom	ECT	Manager Infrastructure & Equipment
Johannes Stelten	EUROGATE Container Terminal Wilhelmshaven GmbH & Co. KG	Operations Manager
Tom Eckelmann	Eurogate GmbH	Managing Director
Frank Tazelaar	Former APMT	
Juan Orti	Hanjin Shipping	West-MED Operations Director
Steven Chi	HPH	Head of Operations
Lucien Robroek	Hyster-Yale Group	VP, Big Truck Products
Dr. Rafael Velasquez	INFORM	Senior Consultant
Karsten Horn	INFORM	Business Development Manager
Amanda Melving	Informa	Event Director
Firas Said	International Port Management	Port and Container Terminal Operations Manager
Phillipe Salles	INTTRA	Managing Director
Olaf Merk	ITF/OECD	Administrator, Ports & Shipping
Bruce Barnard	JOC.com	London Correspondent
Ismo Matinlauri	Kalmar	VP, Solution Sales and Marketing
Jouni Kyllonen	Kalmar	Sales Director
Maija Eklof	Kalmar	Vice President, Marketing & Communications
Juha Pankakoski	Konecranes	CDO
Tomas Gylling	Konecranes	Sales Manager
Tuomas Saastamoinen	Konecranes	Sales Director
Luca Abatello	Log@Sea	Chairman
Ross McKissock	London Container Terminal Ltd	
Mark Schepp	Maher Terminals	Senior Vice President
Andy Barrons	Navis	SVP & CMO
Benoit de la Tour	Navis	President
Dr. Oscar Pernia	Navis	Senior Director, Product Strategy
Marco Molleman	Navis	Customer Support Manager
Peter Miedema	Navis	VP Professional Services
Tony Rees	Navis	Senior Director of Client Services
Francisco Blanquer	Noatum Terminal Ports	Major Projects Manager
Koji Takahashi	Port and Airport Research Institute (Japan)	Research Director
Rich Ceci	Port of Virginia	Senior VP, Projects and Technology
Miguel Montesinos	Prodevelop	CTO
Jan Lagey	PSA Antwerp	Ops support manager
Stephan Gosiau	PSA Antwerp	Regional Technical Director
Adrian Sim	PSA Corporation Ltd	Assistant Vice President
Bee Lock Oh	PSA International Ltd	COO, PSA Singapore
Kris Kosmala	Quintiq	General Manager / MD Asia Pacific
Alexsander Willhoeft	Siemens	Head of Project Management
Gerhard Fischer	Siemens	head of sales
Adolfo Eugenin	Sitrans	Technology & Process Engineer
Alvaro David	Sitrans	Depot & Container Manager
Francisco Pavez	Sitrans	Process & IT Manager
Leyla Guerra	Sitrans	Systems Manager
Bert de Groot	TBA	
Dr. Yvo Saanen	TBA	Managing Director
Klaas-Pieter van Til	TBA/CSA/DBIS	Founder/Advisor
Philipp Reiter	Terex MHPS GmbH	Sales Manager, Systems
Loic Lecomte	TGI Net	Projects Director
Jost Daemngen	TMEIC	Industry Segment Leader
Dave Pendleton	Trelleborg	Managing Director (UK)
Richard Hepworth	Trelleborg Marine Systems	Managing Director
Macarena Rodríguez	TTI Algeciras	OPERATIONS PLANNING MANAGER
Daniel Serrano	TTI Algeciras	AUTOMATION MANAGER
Kate McCauley	Tuscor Lloyds	Brand Manager
Steve Burgess	Tuscor Lloyds	Project Dept.
Aleksandr Artjomov	Visy in UK Ltd	Director

参考表-4 PTI主催 第2回国際会議 参加者リスト (その1)

2017年4月19日, 20日 Container Terminal Automation Conference

(注) 筆者は, 一般社団法人港湾荷役機械システム協会 (英語名: Japan Association of Cargo-handling Machinery Systems) の依頼出張で参加した.

Name	Surname	Company
Jeremy	Chee	1Stop Connetions
Uno	Bryfors	ABB Ports
James	Cooper	ABP
Chris	Garton	ABP
Diego	F. Quiroga	AECOM
Francisco	de los Santos	Algeciras Port Authority
Luc	Arnouts	Antwerp Port Authority
Calvin	Leong	APL
Keith	Svendsen	APM Terminals
Carla	Debart	APM Terminals Zeebrugge
Ibrahim	Haidar	Beirut Container Terminal Consortium
Jocelyn	Hansen	Bestshore Business Solutions
Anton	Bernaerd	Cameo Technologies
Jan	Bossens	Cameo Technologies
Claus	Burger	Conductix - Wampfler
Hassan	Matar Hassan	Container Terminal 1DP World - UAE Region
Simon	Young	COSCO UK
Alistair	Williamson	DP World
Jordi	Masip	DP World
Terry	Hunter	DP World
Elena	Garcia	DP World
Xavier	Boluda	DP World - Tarragona
Neil	Davidson	Drewry Maritime Research
Oscar	Rivella	Eaton
Derek	Bryans	Eaton
Douglas	Watson	Ericsson
Tom	Eckelmann	Eurogate
Katharina	Renken	Fraunhofer CML
Stephane	Hecky	Gaussin Group
Gary	Peters	Global Data
Jens-Erik	Wegner	Hamburg Port Authority
Andreas	Natter	Hans Kuenz GmbH
Hannes	Eberharter	Hans Kuenz GmbH
Nick	Rowley	Hitachi Consulting
Hannah	Holmes	Hitachi Consulting
Dr. Stefan	Wiech	HPC Hamburg Port Consulting GmbH
Michael	Baumert	HPMport Project & Management Consultants
Steven	Chi	Hutchison Port Holdings
Nick	Earle	Hyperloop One
Olaf	van Straaten	Hyster-Yale
Deborah	Fish	IHS Markit
Bob	Dhaliwal	ILWU Canada
Maurice	Winn	Infolayer
Jeyachandran	Kasimani	Infolayer
Dr. Eva	Savelsberg	INFORM GmbH
Rafael	Velasquez	INFORM GmbH
Karsten	Horn	INFORM GmbH
Olaf	Merk	International Transport Forum at the OECD
David	Sanborn	International Transportation Systems, LLC
Inna	Kuznetsova	INTIRA
Martin	Penney	INTIRA
Koji	Takahashi	Japan Association of Cargo-handling Machinery Systems
Andrew	Webster	JLT Specialty Limited
Julian	Johanson Brown	Johanson Brown
Jarno	Kuipers	Kalmar Global
Arian	Meijer	Kalmar Global
Damien	Cols	Kalmar Global

参考表-4 (続き) PTI 主催 第2回国際会議 参加者リスト (その2)

2017年4月19日, 20日 Container Terminal Automation Conference

(注) 筆者は, 一般社団法人港湾荷役機械システム協会 (英語名: Japan Association of Cargo-handling Machinery Systems) の依頼出張で参加した.

Thomas	Gylling	Konecranes
Ralf	Konnerth	Konecranes
Jussi	Sarpio	Konecranes
Tero	Jaakkola	Konecranes
Kim	EunWoo	Korea Maritime Institute
Mike	Huff	London Container Terminal
Glen	Hardwick	London Container Terminal
Neil	Bartholomeusz	London Container Terminal
Boskin	Edvin	Luka Koper
Beskovnik	Marjan	Luka Koper
Alex	Montebello	Malta Freeport Terminals
David	Buschman	Merford Cabins
Sean	Barker	Mott MacDonald
Pablo	Jimenez	Mott MacDonald
Martin	Church	Navis
Guenter	Schmidmeir	Navis
Henrik	Alfke	Navis
Ibrahim	Mohammed	Nigerian Ports Authority
Ivan	Deosdad	Noatum Container Terminal Valencia SAU
Francisco	J. Grau Cavanillas	Orbita Ingenieria
Jesus	Moya Jimenez	Orbita Ingenieria
Bradley	Cumbleholme	Peel Ports
Zoran	Knezevic	Port Alberni Port Authority
Maravillas	Sanchez-Barcaiztegui	Port Authority of Valencia
Eduardo	Bustamante	Port of Cartagena
Stephen	Abraham	Port of Felixstowe
Robin	Mortimer	Port of London Authority
Eugene	Seroka	Port of Los Angeles
Donald	Baan	Port of Rotterdam
John	Phillips	PSA
Kris	Kosmala	Quintiq
Tom	Ossieur	Royal HaskoningDHV
Simon	Blake	Royal HaskoningDHV
Nisha I	Sooredoo	Royal HaskoningDHV
Lars	Jensen	Sea Intelligence Consulting
Gerben	Nummerdor	Siemens
Gerhard	Fischer	Siemens
Diana	Yuan	Sinotrans
Michelle	Rawlings	Smiths Detection
Dr. Evangelos	Markopoulos	Sparthink Technologies
Norbert	Schreiber	SSA International - SSA Mexico
Hannah	Leyland	Stein IAS
Dr. Yvo	Saanen	TBA
Linda	Hu	TBA
Kenneth	Peire	Terminal Investment Limited (TIL)
Deelan	Daly	TMEIC
Jim	Trexel	TMEIC Corporation
Jon	Sojo	Tratos
Richard	Hepworth	Trelleborg Marine Systems UK Limited
David	Pendleton	Trelleborg Marine Systems UK Limited
Mikaela	Revel	TI Club
Michael	Ya rwood	TI Club
Neel	Ratti	Tuscor Lloyds
Bill	Anderson	UK Ports
Ruben	Emir Gnanalingam	West Ports Malaysia
Wolfgang	Lehmacher	World Economic Forum
Richard	Crowther	WSP
Jonathan	Tyler	WSP
Pedro	Galveia	Yilport - SOTAGUS, Lisbon Container Terminal
Rafi	Danieli	Zim

港湾空港技術研究所報告 第56第4号

2018.3

編集兼発行人 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

発行所 港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社シーケン

Copyright © (2018) by MPAT

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of MPAT

この資料は、海上・港湾・航空技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は海上・港湾・航空技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

CONTENTS

1. Trend Analysis of Automated Container Terminals in the World	
.....Koji TAKAHASHI 3